

Измерительная технология спутникового мониторинга саранчовых

В.И. Горный, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов, Т.Е. Теплякова, А.А. Тронин

*Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр
экологической безопасности РАН (НИЦЭБ РАН)
197110, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, д.18
E-mail: img@at1895.spb.edu*

В связи с глобальным потеплением, в последние годы возросла угроза саранчовой опасности для южных регионов России. Международным научно-техническим центром (МНТЦ) поддержан проект №2908 «Разработка технологии картирования районов массового размножения саранчовых методами дистанционного зондирования для обеспечения мероприятий по экологически безопасной защите сельскохозяйственных угодий» (2005-2007). Объектом исследования явился регион южной части Западной Сибири. Целью исследований – Создание технологии космического мониторинга саранчовых. В качестве основной методологии выбрано измерительное направление дистанционного зондирования Земли. Используются съемочные системы спутников EOS, преимущество которых является высокая повторяемость съемки и полное метрологическое обеспечение. Для картирования численности саранчовых по материалам космических съемок применен метод прямой калибровки по результатам учетов численности на ключевых участках Новосибирского тестового полигона. Для прогнозирования разработана и на примере вспышки численности саранчовых на о. Мадагаскар апробирована трофическая математическая модель локальной миграции саранчи. На основе анализа многолетних рядов космических и метеонаблюдений для юга Западной Сибири разработаны критерии долгосрочного прогноза вспышек численности саранчовых.

Обоснована концепция системы ведомственного мониторинга, ориентированная на измерительные методы дистанционного зондирования Земли из космоса и максимальную автоматизацию обработки космической информации.

Введение

Наблюдаемое глобальное потепление [1] приводит опустыниванию территорий. В результате, в течение последних десятилетий повысилась угроза саранчовой опасности на юге Западной Сибири. Например, с 1996 по 2001 гг. в этом регионе наблюдалась вспышка численности итальянского пруса (*Calliptamus italicus* (L.)) [2]. В связи с этим создание Государственной системы спутникового мониторинга саранчовых является чрезвычайно актуальным.

Одним из элементов службы защиты растений является система информационной поддержки принятия решений. Такая система должна получать и обрабатывать информацию о местоположении, времени и уровне саранчовой опасности.

Принимая во внимание гигантскую территорию южных регионов России наиболее экономически целесообразно в качестве информационной основы такой системы использовать материалы спутниковых съемок.

Основными ограничениями применения спутниковых методов мониторинга саранчовых являются:

1. Выполнение спутникового мониторинга в оперативном режиме требует высокой повторяемости космической съемки (желательно получение ежедневных данных).

2. В силу малых размеров особей саранчи невозможно увидеть их на космических изображениях даже сверхвысокого геометрического разрешения. Более того, из-за низкой повторяемости съемки (~15 дней) невозможно в оперативном режиме использовать и материалы высокого геометрического разрешения [3]. Но в тоже время, спутниковые съемочные системы среднего геометрического разрешения – NOAA (AVHRR), Terra/Aqua (MODIS) (250-1000 м) позволяют получать ежедневные данные. В этом случае становится

возможным найти «окна» с безоблачными погодными условиями даже в периоды плохой погоды.

Таким образом, основным инструментом для получения спутниковой информации были выбраны спутники систем NOAA и EOS. Но первое ограничение определяет применение количественного (измерительного) направления дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) (так называемое косвенное картографирование). В этом случае реализуется высокая чувствительность датчиков съемочных систем NOAA и EOS. Более того, измерительное направление позволяет распространять результаты, полученные на локальном участке на всю территорию исследуемого региона.

Прогнозирование «вспышек» численности саранчовых

Для разработки технологии была выбрана южная часть Западной Сибири – один из основных сельскохозяйственных регионов России. Климат региона - континентальный, с холодной зимой и сухим жарким летом. Среднегодовая температура около +3.5 °С, годовое количество осадков - 350 мм, из которых на снежный покров приходится 100 мм. Широко распространены степные ландшафты. Большая часть территории распахана. Производство сельхозпродукции имеет зерновую направленность. Тестовый полигон для верификации спутниковых данных был выбран в Новосибирской области, недалеко от границы с Республикой Казахстан. Ландшафтные условия на тестовом полигоне типичны для всего юга Западной Сибири.

В пределах юга Западной Сибири отмечены несколько видов саранчовых: итальянский прус (*Calliptamus italicus*), марокканская (*Dociostaurus maroccanus*) и азиатская саранча (*Locusta migratoria migratoria*). В регионе наибольшую опасность для сельского хозяйства представляет итальянский прус. Более 4 млн. га пострадали от него в Республике Казахстан и на юге Западной Сибири в 1999г., когда плотность числа итальянского пруса достигала 150 штук/м².

Цифровые материалы спутников Terra(MODIS) и NOAA(AVHRR) были использованы для построения карт вегетационного индекса и температуры земной поверхности за период с 1981 по 1998 гг. В период с 1999г. по 2007г. были построены, также, карты среднемесячного коэффициента спектральной яркости, полученные по материалам спутника Terra(MODIS) и 8-дневные композиты для каналов 1 и 2 того спутника.

Далее была исследована возможность применения геофизических характеристик, восстановленных по результатам спутниковых съемок для мониторинга «вспышек» численности саранчовых. Для этого были использованы температура земной поверхности, вегетационный индекс, влажность почвы и данные наблюдений на метеостанциях.

В результате, предложен комплексный индекс саранчовой опасности - I :

$$I = a * I_a + b * I_{ndvi} + c * I_{\odot} \quad (1)$$

где: I_a – индекс аридности, I_{ndvi} – нормализованный вегетационный индекс (спутниковые данные), $I_{\odot}$ – индекс числа пятен на Солнце, a , b , c – весовые коэффициенты (приняты равными 1/3 для первого этапа мониторинга).

$I_a = P / t$, где: P количество осадков с мая по август, мм (метеоданные), t – средняя за период с мая по август температура поверхности, °С (спутниковые данные). Индексы нормализованы относительно максимального за исследуемый период значения.

В результате, разработанная технология прогнозирования вспышек численности саранчовых оказалась весьма простой и легко реализуемой в оперативном режиме (рис.1). При снижении значения комплексного индекса саранчовой опасности ниже уровня 0.43 наступает тревога саранчовой опасности и должны применяться превентивные меры по регулированию численности саранчовых.



Рис. 1. Вариации комплексного индекса саранчовой опасности за последние 26 лет на Новосибирском тестовом полигоне. Уровень саранчовой тревоги наступает при $I \leq 0.43$

Спутниковое картографирование плотности числа саранчовых

Методология применения материалов спутниковых съемок для обнаружения объектов, размеры которых меньше, чем геометрическое разрешение съемочных систем, иллюстрируется рис. 2.

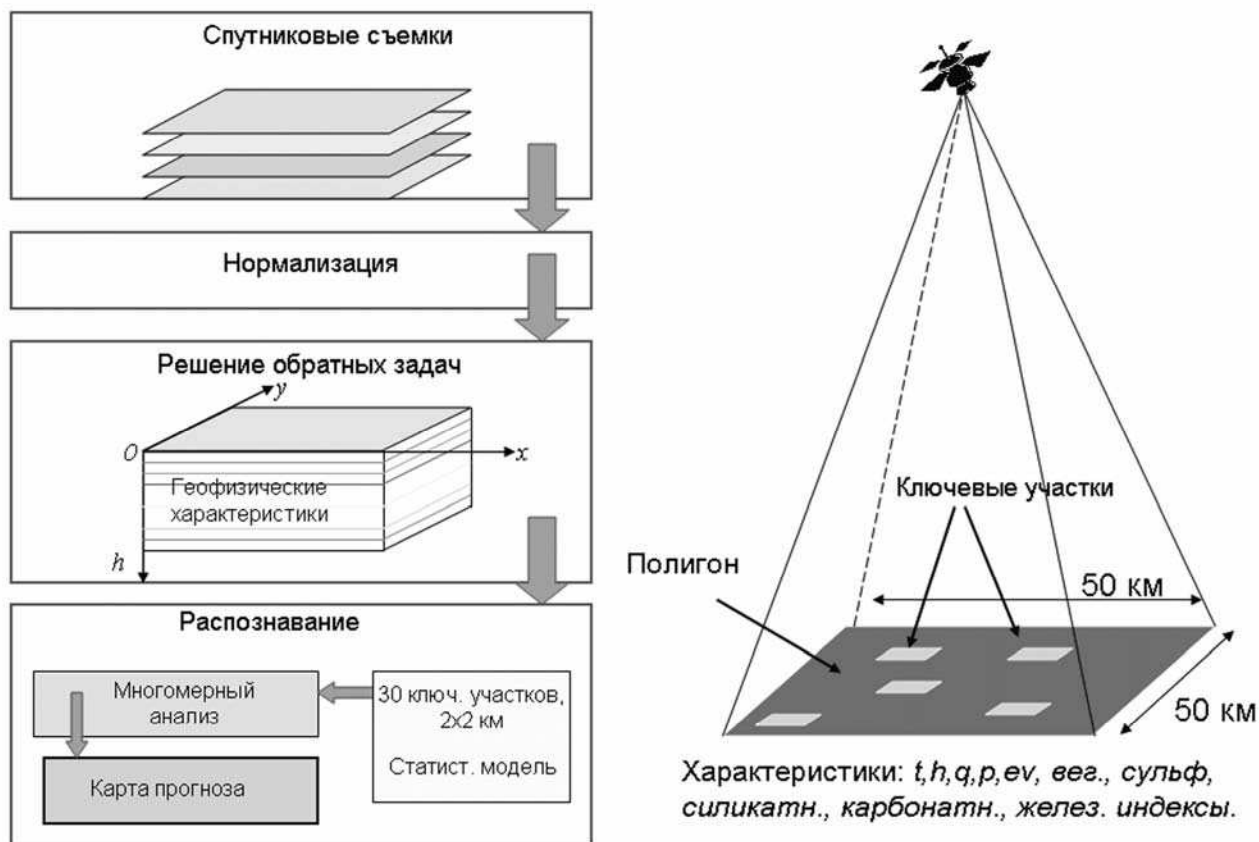


Рис. 2. Схема обработки материалов съемок спутников NOAA и EOS, примененная для картографирования плотности числа саранчовых

Первые два этапа методологии – стандартны для обработки спутниковых материалов. Задачей последнего этапа является опознавание объекта картографирования. Здесь могут применяться методы многомерного регрессионного анализа или же метод нейронных сетей с использованием прямой калибровки результатами наземных учетов плотности числа саранчовых на тестовом полигоне.

Новосибирский тестовый полигон (70x50 км), созданный нами для калибровки, включает в себя 30 ключевых участков (2x2 км). Учеты численности саранчовых выполнялись на 30 точках (1x1м), равномерно распределенных внутри каждого ключевого участка весной, летом и осенью, в течение 2005, 2006, и 2007 годов.

Ландшафтные условия в регионе характеризуются высоким мозаицизмом. Поэтому по результатам полевых исследований все экосистемы были разбиты на 17 природно-хозяйственных комплексов (Таблица). После чего, методом эталонной классификации с использованием набора карт геофизических характеристик поверхности, восстановленных по данным спутников NOAA и Terra выполнено районирование всей территории исследуемого региона. Далее, с использованием результатов наземных учетов численности саранчовых была выполнена нормировка каждого из выделов.

В результате была построена карта плотности числа саранчовых (рис. 3). Оценка надежности построения карты выполнена на контрольном тестовом полигоне, расположенном в Алтайском крае - за пределами Новосибирского тестового полигона (рис.3). Внутри контрольного тестового полигона также были размещены 30 ключевых участков и учеты велись по той же, что и на Ново-

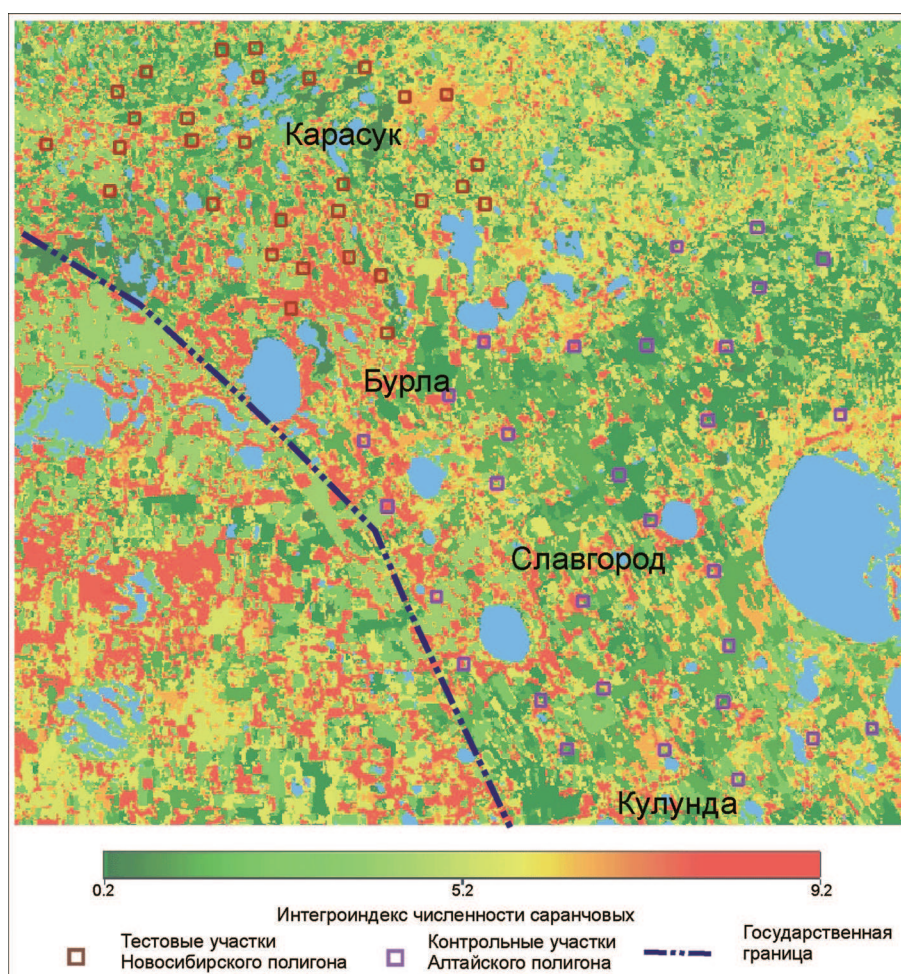


Рис. 3. Карта плотности числа саранчовых, построенная по данным съемок спутниками NOAA и EOS и данным наземных учетов численности саранчовых на Новосибирском тестовом полигоне

сибирском полигоне методике. Сравнение результатов наземных учетов численности саранчовых на площади контрольного полигона с результатами, полученными по разработанной космической технологии позволило оценить погрешности: систематическая ошибка оказалась равной 1.2 штук/м², а среднеквадратическая - 0.5 штук/м².

Таблица. Классификация природно-хозяйственных комплексов Новосибирского тестового полигона

№ n/n	Природно-хозяйственный комплекс	Интегральный индекс плотности числа саранчовых ¹
1	Пастбища выбитые	4.8
2	Степи сухие	3.6
3	Солонцы степные	3.3
4	Степи	2.4
5	Лугостепи	2.3
6	Галофиты	1.4
7	Солонцы	1.2
8	Луга	1.1
9	Залежи	-0.3
10	Колки	-0.9
11	Сенокосы, пастбища	-1.5
12	Огороды	-2.0
13	Пары	-2.1
14	Луга заливные	-2.2
15	Пахотные земли	-3.0
16	Тростники	-3.8
17	Свежевспаханные поля	-4.1

Региональный опасный уровень плотности числа особей итальянского пруса составляет ≥ 10 штук/м². Полученные ошибки спутникового картографирования плотности числа саранчовых являются допустимыми для нужд оперативного мониторинга.

Прогнозирование локальной миграции саранчи

Для прогнозирования, нами предложена следующая трофическая математическая модель локальной миграции стай саранчи:

$$dV(x,y,t)/dt = -\alpha S(x,y,t) \quad (2)$$

$$dS(x,y,t)/dt = \delta S(x,y,t)(\gamma - V(x,y,t)/S(x,y,t)) + \iint R(x,y,t)S(x,y,t)dudv$$

где: $S(x,y,t)$ - удельная плотность числа саранчовых в точке с координатами x и y в момент времени t ; $V(x,y,t)$ – удельная биомасса на единице площади в момент времени t ; α - скорость «выедания» биомассы саранчой; γ - коэффициент пищевой достаточности биомассы; $V=(v_x, v_y)$ – вектор ветрового смещения саранчи;

Функция:

$R(x,y,t)=c \cdot R(x,y,u,v) = c \cdot \exp\{-[(x-u-v_x)^2 + (y-v-v_y)^2]/4\beta\}$ - описывает миграцию саранчи на элемент земной поверхности (x,y) из точки с координатами (u,v) ; c – коэффициент; β - миграционная способность (м²/с).

На базе модели (2) был разработан специализированный для моделирования локальной миграции саранчи пакет программ (рис. 4).

¹ Интегральный индекс плотности числа саранчовых есть разница между модой плотности числа саранчовых на всем тестовом полигоне и таковой для конкретного природно-хозяйственного комплекса за период учетов 2005-2007.

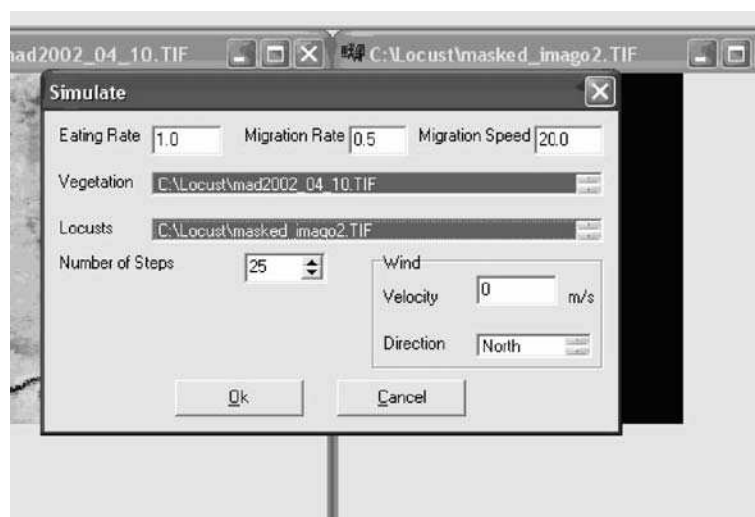


Рис. 4. Диалоговое окно специализированного пакета программ для моделирования локальной миграции саранчи

Верификация модели выполнена на примере «вспышки» численности саранчовых на о. Мадагаскар. Время и местоположение стай саранчи, наземные фотографии предоставлены доктором Алексом Франком (Dr. Alex Frank (CIRAD/Unite de Recherche d'Acridologie Campus International de Baillarguet, Montpellier cedex 5 - France).

На указанную территорию были получены ежедневные данные спутника Terra(MODIS) для всего апреля 2002 г. и построены карты вегетационного индекса. С использованием этой информации было выполнено математическое моделирование изменения плотности числа саранчовых и вегетационного индекса (рис. 5). Коэффициенты в уравнении (2) были определены по набору карт вегетационного индекса, полученного по спутниковым данным. Значения этих коэффициентов при следующей «вспышке» могут быть использованы как первое приближение.

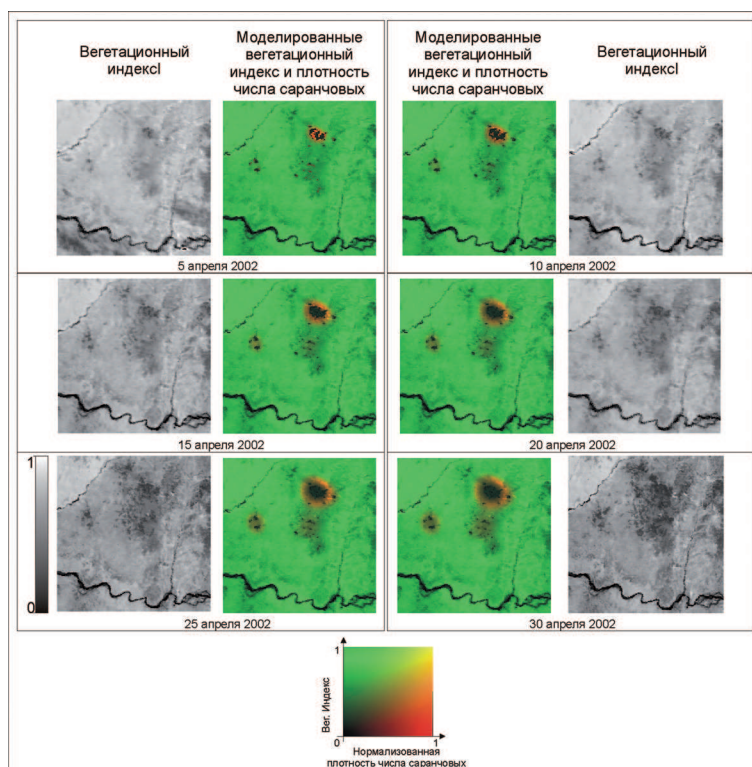


Рис. 5. Результаты математического моделирования локальной миграции саранчи в сравнении со спутниковым мониторингом изменения вегетационного индекса на о. Мадагаскар в апреле 2002 г.

Предлагаемая структура государственной системы спутникового мониторинга саранчовых

Предложена следующая структура системы спутникового мониторинга, предназначенная для информационной поддержки принятия управленческих решений по защите растений от саранчовых (рис. 6):

1. **Правительственный уровень:** Главный компьютерный центр (ГКЦ) Министерства сельского хозяйства должен получать и обрабатывать всю оперативную информацию со спутников, метеостанций, тестовых полигонов.

2. **Региональные центры:** выполняют учеты на тестовых полигонах, разрабатывают рекомендации по эффективным и экологически безопасным мерам по защите растений от саранчовых.

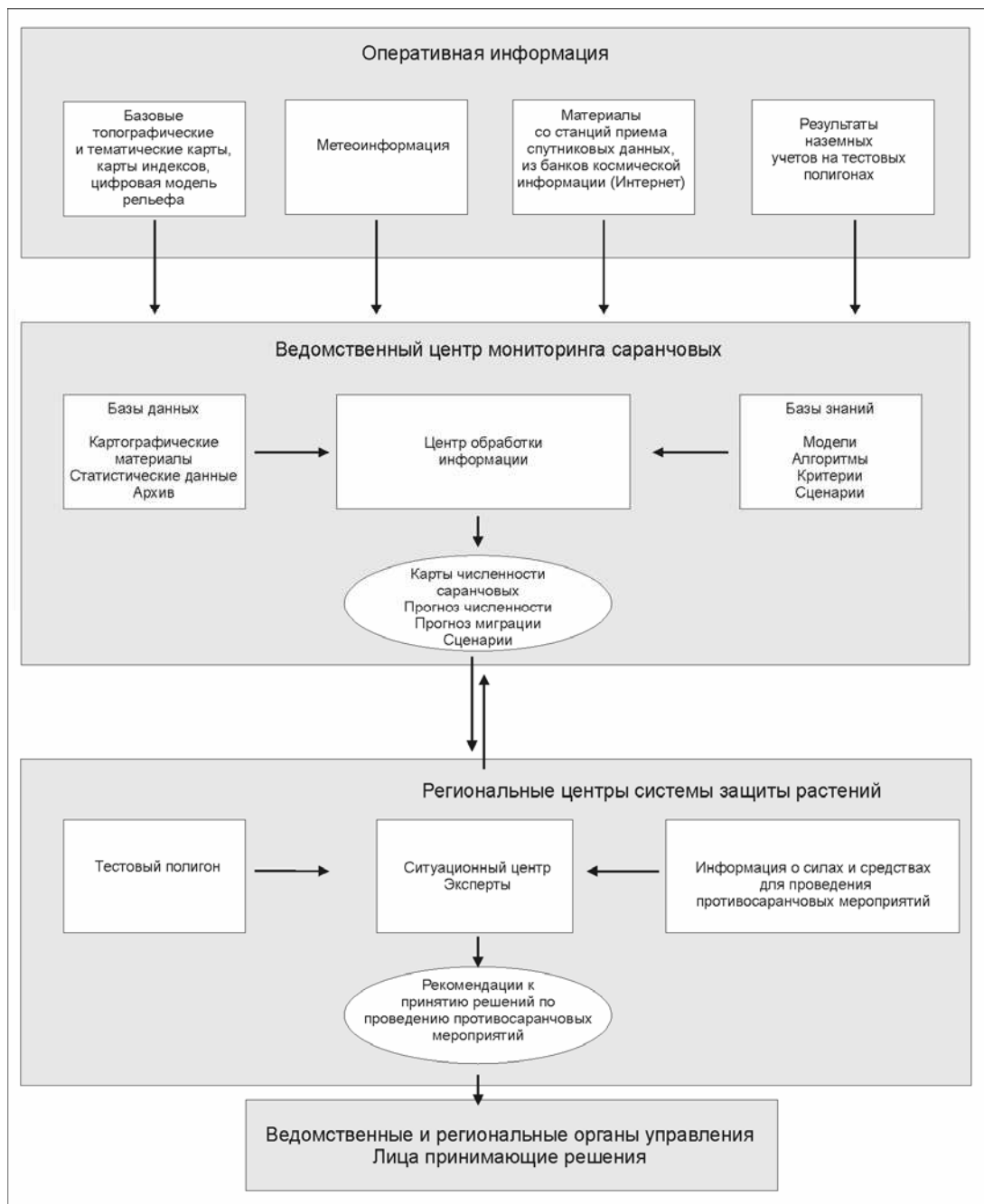


Рис. 6. Структура государственной системы космического мониторинга саранчовых

Выводы

1. Разработана дешевая и эффективная технология космического мониторинга саранчовых как инструмент системы информационной поддержки принятия решений в области защиты растений.
2. Технология может быть быстро внедрена в производство.
3. Предложенная структура государственной системы космического мониторинга саранчовых ориентирована на поддержку принятия решений, направленных на парирование угроз саранчовой опасности.
4. Разработанная на примере космического мониторинга саранчовых методология может быть использована и для мониторинга других биопасностей.

Литература

1. *Climate Change. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Edited by J. T. Houghton Intergovernmental Panel on Climate Change. // Cambridge University Press, 2001. 892 p.
2. *Лачининский А.В. и др.* Саранчовые Казахстана, Средней Азии и сопредельных территорий. Ларамы: Международная организация прикладной акридологии и Университет Вайоминга. 2002. 387 с.
3. *J. Ma et al.* Monitoring East Asian migratory locust plagues using remote sensing data and field investigations // *Int. J. of Remote Sensing*, vol. 26 (3). 2005. P. 629–634.