

О прогнозировании вспышек массового размножения саранчовых с использованием климатического прогноза

М.К. Чильдебаев¹, О.М. Покровский², Ж.Д. Жалмухамедова³, А.И. Иванов³

¹Институт зоологии, Академгородок, Алматы, 480060, Казахстан;

²Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, 194021, Россия;

³Научно производственный и информационный центр «Казэкология», Алматы, 480091, Казахстан

Вопросы прогнозирования и предотвращения вспышек массового размножения вредных саранчовых до настоящего времени остаются актуальными из-за значительных потерь сельскохозяйственного производства.

Существуют ряд обстоятельств, не позволяющих предотвратить массовые размножения саранчовых. Во-первых, служба защиты растений обычно отмечает начало подъема численности саранчовых с опозданием на 1-2 года. Многолетние перерывы в массовых размножениях стадных видов притупляют бдительность специалистов. Тем более, что на севере Казахстана очаги итальянского пруса, а это степные полынные и полынно-злаковые растительные формации, пастбища, залежи, обочины лесополос, расположены за пределами сельхозугодий, вне зоны постоянных наблюдений. Это же в полной мере относится и к перелетной саранче. Это приводит к их беспрепятственному накоплению и трансформации в стадную фазу. Обычно тревога объявляется лишь после обнаружения кулиг и стай. Во-вторых, проведение истребительных мероприятий даже на значительных площадях в период уже начавшегося массового размножения не может оказать решающего влияния на динамику численности саранчовых. «Сбить» цикл массового размножения стадного вида в годы пика его численности посредством истребительных мероприятий совершенно не возможно. Об этом писали и говорили многие ортоптерологи и, в частности, выдающийся ученый Б.П. Уваров. Вышесказанное вовсе не означает, что борьба с саранчовыми в периоды их массовых размножений не нужна. Это единственная возможность снизить их плотность в текущем году и оперативно защитить посевы. В-третьих, многие трудности, возникающие при борьбе с саранчовыми, определяются современным состоянием сельского хозяйства. Необходимо иметь целевые запасы инсектицидов, горюче-смазочных материалов, в рабочем состоянии соответствующую технику, своевременно проводить инструктаж и учебу специалистов в хозяйствах. Все это требует значительных финансовых затрат, которые непосильны местным бюджетам и должны выделяться правительством. Имеются и другие причины, способствующие массовому размножению стадных саранчовых – это и общее потепление климата, сопровождающееся аридизацией, т.е. усилением засушливости условий, процессы опустынивания, увеличение площадей заброшенных земель и т.п.

В связи с вышеизложенным большое практическое значение приобретает задача прогнозирования и своевременного оповещения начала массовых размножений саранчовых. Хотя некоторые аспекты этой сложной проблемы пока еще не совсем ясны, известны основные параметры, определяющие начальные этапы повышения численности стадных видов. В ряде работ (Захаров, 1950; Викторов, 1967; Витинский, 1973; Дружинин и др., 1977; Лачининский и др., 2002) установлено, что периоды вспышек массовых размножений саранчовых тесно связаны с определенными погодно-климатическими условиями. Так, началу массовых размножений способствуют жаркие и засушливые погодные условия. Для итальянского пруса благоприятны годы с резко пониженным количеством осадков и повышенными температурами в весенне-летний период (май-август). Два года с такими погодными условиями, следующие один за другим, обычно приводят к массовому размножению итальянского пруса. Изменения климатических факторов, которые влияют на водный режим гнездилищ азиатской саранчи, обладают определенной ритмичностью (Цыпленков, 1962), связанной с рит-

микой солнечной активности, а также с короткопериодными колебаниями климатической системы под влиянием ее внутренних факторов, например, в связи с изменением температуры океана. В целом, для перелетной саранчи характерна существенная зависимость интенсивности ее размножения от гидротермического режима ее гнездилищ: чередующиеся сезонные паводки и обсыхания плавней обуславливают сокращение или расширение кормовой базы и участков для яйцекладки. Теплая и сухая погода также способствует началу вспышек размножения у этого вида саранчи. Предполагать возможность образования стадной фазы можно при: 1) дружной сухой весне с низкими кратковременными паводками, 2) появлении летом в гнездилищах начинающих пересыхать массивов тростника, 3) концентрации взрослых особей на таких участках или вблизи них в количестве 300-500 и более экземпляров на 1 га. В случае сочетания этих признаков в течение одного, а чаще двух лет подряд можно ожидать массового размножения азиатской саранчи на следующий год. Цикличность, обусловленная изменениями климатических факторов, характерна и для сообществ других животных организмов (Максимов, 1984; Максимов, Ермаков, 1985). Таким образом, успешность прогноза размножения саранчовых в значительной мере зависит от степени оправдываемости климатических прогнозов.

В глобальном масштабе погодные условия в существенной мере зависят от ритмики солнечной активности, которая прямо или косвенно регулирует все процессы, характерные для биоты нашей планеты. Многие ученые уже давно отмечали гелиоциклическую обусловленность вспышек массовых размножений вредных саранчовых (Кеппен, 1870; Кулагин, 1921; Предтеченский, 1930; Захаров, 1950; Щербиновский, 1952; Викторов, 1967; Цыпленков, 1970; Максимов, 1984; Камбулин, 1992; Покровский, 1996). Из них наиболее хорошо изучен одиннадцатилетний цикл, продолжительностью 9-14 лет. Однако, нельзя забывать и о более долгопериодных циклах солнечной активности, например, о «двойном» двадцатидвухлетнем цикле. С другой стороны, короткопериодные климатические колебания, определяемые влиянием флуктуаций температуры океана, колеблются в интервале от десятилетия, характерного для явлений Эль-Ниньо, до нескольких месяцев и даже недель, влияющих на формирование погоды в Европе и Азии посредством Северо-Атлантического и Арктического колебания (Покровский и др. 2004б). Массовое размножение итальянского пруса с плотностью выше 2000 особей на м² имело место в ряде районов Западной Сибири и Северного Казахстана в 1922, 1938, 1943-45, 1952, 1956, 1967-1971 и 1979-1982 гг. Это показывает, что влияющим фактором является не только 11-летний цикл солнечной активности, хотя его роль весьма значительна. Данные рис.1 иллюстрируют, что период положительной аномалии радиационного баланса и минимума осадков в Западной Сибири соответствовал последней вспышке размножения саранчи.

Массовые размножения итальянского пруса и перелетной саранчи обычно начинаются вскоре после наступления максимума солнечной активности, а наиболее сильно проявляются во время минимальной его активности, после чего довольно резко затухают. Весь этот цикл: спад – подъем – вспышка – спад – в среднем занимает 10-12 лет, хотя период самой вспышки в цикле может продолжаться от 3 до 8 лет. Воздействие солнечной активности при этом проявляется косвенным образом, через перераспределение метеорологических параметров, изменение погодных условий, динамику растительных формаций мест обитания и т.п. Кроме того, значительное воздействие на динамику видов, особенно в зоне многолетнего землепользования, оказывают различные аспекты антропогенной деятельности, которая может существенно смягчать или усиливать влияние солнечных циклов. С другой стороны, такого рода антропогенные факторы как распашка и освоение степей, зарегулирование рек, интенсификация сельскохозяйственного производства и некоторые другие, приводят к трансформации территорий, где располагались крупные природные очаги массовых размножений саранчовых. В ряде случаев это приводило к уменьшению площадей очагов или создавало условия, неблагоприятные для развития в них саранчовых. Однако, чаще антропоген-

ная деятельность способствовала массовым размножениям стадных видов.

В отношении мароккской саранчи нарастание ее численности происходит тогда, когда температура превышает средние многолетние значения, а осадков выпадает меньше нормы. При этом критическое значение имеют осадки, выпадающие весной, с марта по май; оптимальным их количеством является примерно 100 мм. Если осадков в этот период выпадает несколько меньше, и, особенно, если такие засушливые вёсны случаются по крайней мере 2 года подряд, то происходит подъем численности мароккской саранчи. Подобная зависимость отмечена для самых разных частей ареала данного вида: Испании, Кипра, Сев. Кавказа, Узбекистана, Таджикистана и Казахстана. Практически весь ареал мароккской саранчи на территории стран СНГ укладывается вдоль изогеты в 100мм весной, что было отмечено еще Г.Я. Бей-Биенко (1936). По его мнению, если в весенний период осадков выпадает значительно больше, то яйца в кубышках часто погибают, так и не отродившись. Правда, в исключительных случаях и слишком сильная засуха в весенний период может оказаться губительной для яиц или вызвать гибель личинок из-за недостатка корма.

Помимо погодных условий, мощным фактором, определяющим динамику мароккской саранчи, является хозяйственная деятельность человека. Во многих случаях именно антропогенное воздействие создает подходящие условия для расселения и массового размножения мароккской саранчи. Например, в некоторых странах, вырубка лесных и кустарниковых массивов, мелиоративные работы по осушению речных долин привело к быстрому расселению этой саранчи. В условиях Южного Казахстана и Средней Азии интенсивный выпас (и особенно перевыпас) скота способствует повышению численности мароккской саранчи, т.к. создаются подходящие станции питания и яйцекладки и идеальные условия для очагов скулиживания мароккской саранчи. Другой вид хозяйственной деятельности человека, а именно распашка предгорных полупустынь, делает станции совершенно непригодными для заселения мароккской саранчей и может полностью ликвидировать ее очаги.

К сожалению, до настоящего времени нигде в мире не разработаны и не внедрены в практику системы мероприятий, позволяющие предотвратить массовые размножения саранчовых. Даже система слежения за очагами саранчовых на основе космической съемки и ГИС, разработанная учеными Австралии и являющаяся на сегодняшний день самой эффективной, время от времени дает сбои. Повсеместно борьба с саранчовыми проводится лишь в периоды, когда реальной становится угроза посевам и в основном путем обработок зараженных площадей инсектицидами, что требует существенных материальных затрат и часто наносит серьезный ущерб природной среде.

Новизна подхода к прогнозированию вспышек массовых размножений саранчовых заключается в углублении методологии взаимосвязей с погодно-климатическими условиями, с использованием экспериментальных натуральных измерений, количественных методов и данных спутниковой информации, при соблюдении требований экологической безопасности защитных мер.

В задачу такой методологии входит изучение и получение количественных оценок связи геофизических параметров и акридологических данных. Наличие этих связей дает возможность использования этих показателей в качестве предикторов (прогностических признаков) при прогнозе вспышки.

Гипотеза. Предполагается, что при относительном постоянстве в пределах крупных регионов климатических факторов ведущую роль в функционировании природно-территориального комплекса играет водно-тепловой режим и режим минерального питания, как ведущий фактор развития растительности и как среда обитания.

Для решения данной проблемы используются следующие методы исследования:

Математические. В настоящее время разработан и апробирован общий метод усвоения наземной и спутниковой радиометрической информации для параметров энергоблагообмена у поверхности суши. Перечень этих параметров включает все компоненты радиационного и теплового баланса. Метод усвоения основан на биортогональном представлении гео-

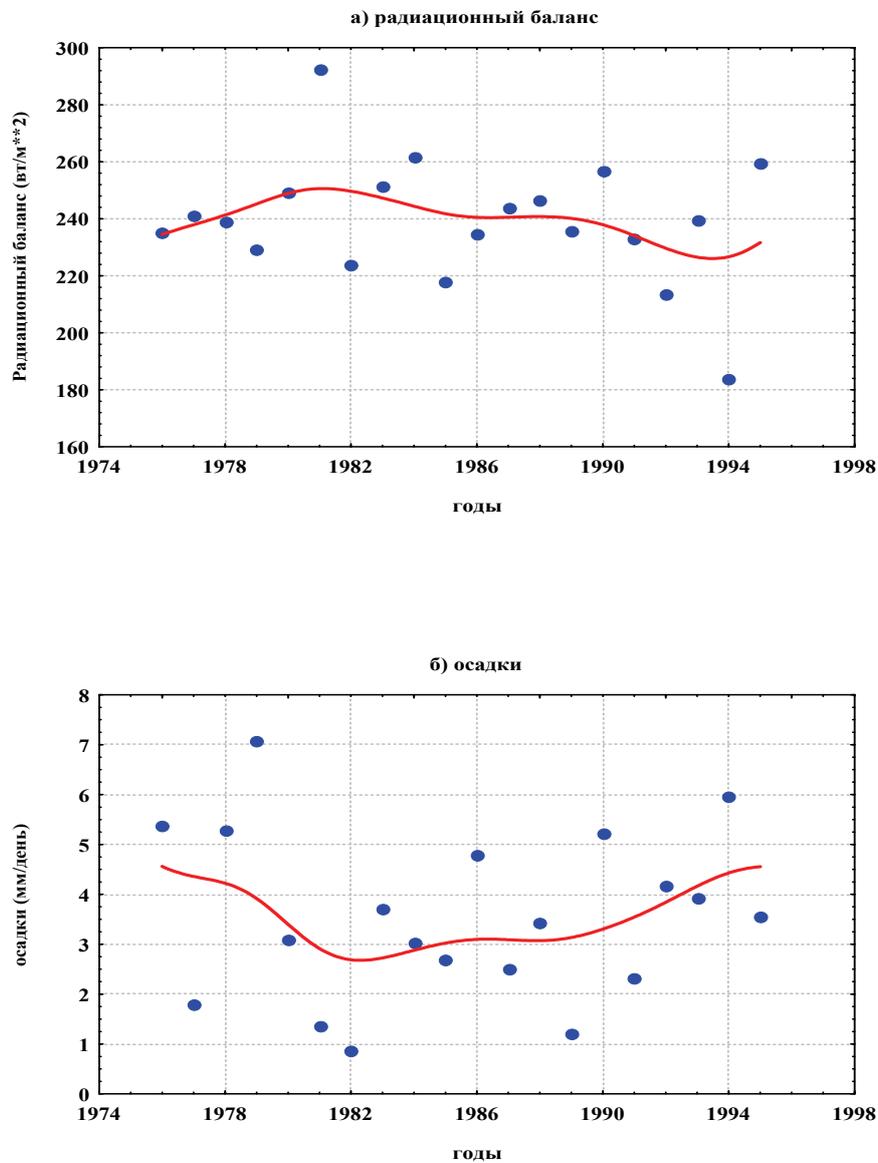


Рис. 1. Межгодовая изменчивость июльского среднемесячного радиационного баланса и осадков на станции Омск. Аномалии соответствуют вспышке саранчи в 1979-82 гг.

физического поля в виде линейной комбинации произведения пространственных гармоник и временных мод. Рассматривается применение метода для получения мгновенных полей составляющих радиационного и теплового баланса с целью последующего их использования в качестве нижнего граничного условия в моделях численного прогноза погоды и климата. Другим инструментом исследований является математическое моделирование взаимосвязанных процессов, происходящих в окружающей среде. Наиболее эффективными, благодаря

гибкости и быстрому самообучению, являются нейронные модели, включающие модули фазы анализа (Pokrovsky et al, 2002; Pokrovsky and Kwok, 2002; Покровский и др. 2004а). Аппарат нейронных моделей наиболее перспективен при описании эмпирических связей, которые не могут быть описаны с помощью аналитических выражений или дифференциальных уравнений, что является характерным для рассматриваемой нами задачи.

Акридологические. Для проведения акридологических исследований в районе периодических вспышек массового размножения вредных саранчовых подбирается полигон размером 50х50км. Основным методом полевых исследований являются маршрутные обследования полигона. Полигон условно разбивается на 25 квадратов со сторонами 10х10км (рис.2). В каждом квадрате в центре определяются географические координаты, которые служат ориентирами для перемещения из клетки в клетку. От центра квадрата в разных направлениях ведется поиск 2-3-х наиболее типичных местообитаний саранчовых (например, залежь, полынно-типчачовая степь). Особенное внимание уделяется участкам, на которых наблюдались массовые размножения саранчовых, они оконтуриваются с помощью GPS. В выбранных местообитаниях записываются географические координаты по GPS, измеряется температура и влажность воздуха на уровне травяного яруса (30-50см), а также на поверхности почвы, дается краткая характеристика участка (микрорельеф, проективное покрытие растениями, ярусность, фоновые виды растений), бальная оценка облачности. Затем на выбранном участке проводится определение относительной плотности саранчовых на единицу площади, в данном случае, на 1м² и сбор методом кошения энтомологическим сачком за единицу времени. После обследования выбранных биотопов, необходимо вернуться в центр квадрата по GPS и от него переехать в центр следующего квадрата. Естественно, что разбивка полигона на равные квадраты в данном случае идеализирована для упрощения. Реальные полевые исследования будут носить не столь равномерный характер по всей площади полигона, а будут определяться реальной ландшафтной обстановкой.

После соответствующей обработки данные наносятся на карту структуры теплового баланса составленных (как выше указано), по данным наземной и спутниковой информации. Если точки обследования не покрывают обособленные данные структуры теплового баланса (структура теплового баланса приравнивается природно-территориальному комплексу: залежь, степь), то оценка плотности саранчовых проводится на дополнительных учетных площадках.

Наблюдательная информация. Как указывалось выше, наряду с акридологическими оценками необходимо располагать стандартными метеорологическими, включая актинометрию и тепловой баланс, и дистанционными спутниковыми наблюдениями. Первые обеспечивают получение данных о физических процессах, происходящих в приземном слое атмосферы, и описывают энергообмен между атмосферой и системой «почва-растительность», включая скорость испарения и нагрева поверхности, осадки, тепловые потоки. Учитывая недостаточность наземной, наблюдательной сети, целесообразно привлекать также и данные спутниковых дистанционных измерений. В последние годы были разработаны методы, позволяющие оценивать основные энергетические величины у поверхности Земли (Покровский и Королевская, 2001; Покровский, 2003), а также оценивать среднемесячные осадки (Покровский, 2004), являющиеся наиболее изменчивой метеорологической характеристикой. С другой стороны, успешная разработка и реализация моделей би-направленных функций отражения солнечной радиации в системе «почва-растительность» является методической основой для оценки по многоугловым спутниковым наблюдениям таких важных структурных параметров как проективное покрытие растениями, ярусность, средняя высота стеблей (крон) и расстояние между стеблями (Pokrovsky and Roujean, 2002).

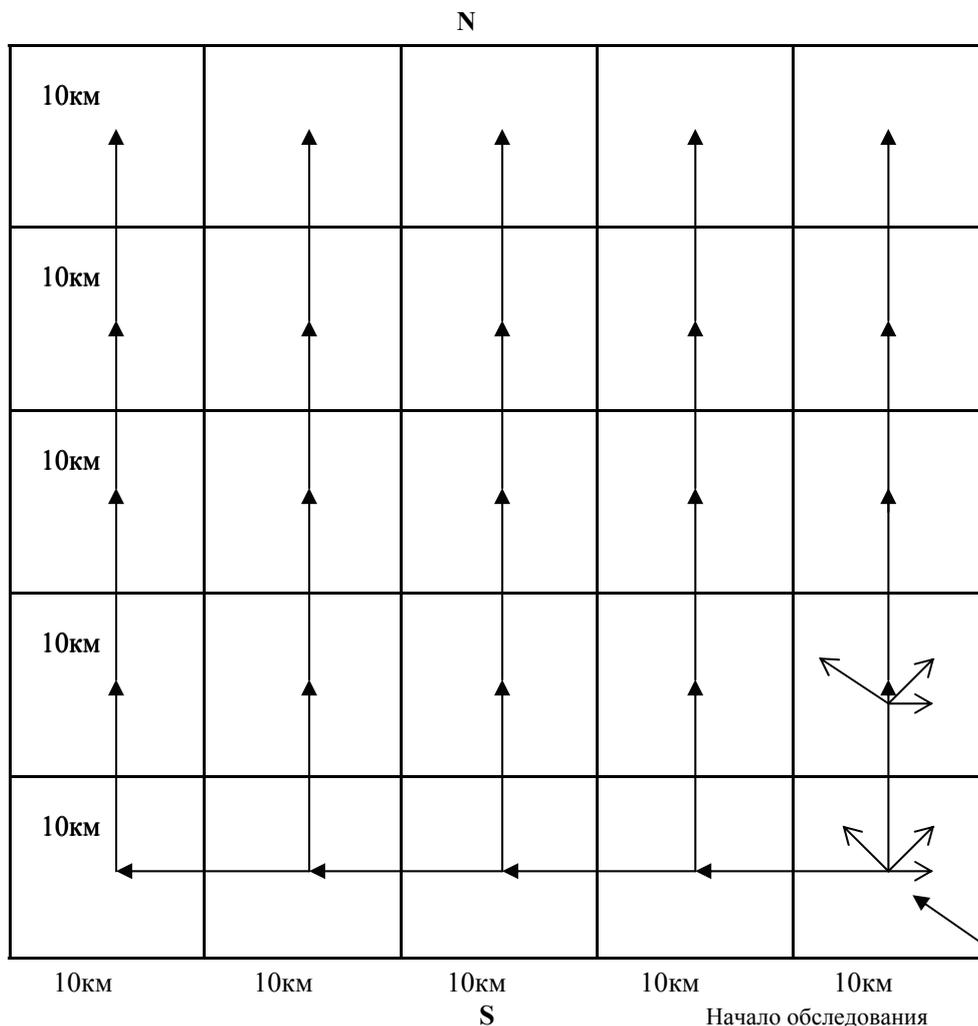


Рис.2. Схема обследования модельного полигона

Краткое описание методики. Последовательность акридологических исследований с использованием климатической информации с дальнейшей разработкой рекомендаций по экологически безопасным технологиям защиты сельскохозяйственных угодий и прогнозом возможных вспышек саранчовых представлена на схеме (рис.3). Проводится численное моделирование совместного усвоения данных обычных и спутниковых наблюдений в схеме численного прогноза погоды за ряд лет. Целесообразность использования спутниковой информации в численных моделях прогноза погоды является основной причиной разработки методологии четырехмерного анализа. Данные спутниковых измерений, хотя они поступают непрерывно, но распределены нерегулярно по территории исследуемых объектов. Например, территория отдельно взятой области обеспечивается покрытием спутниковой информацией дискретно по времени с шагом около 2 часов. Точность восстановления метеорологических параметров у поверхности Земли меняется в зависимости от степени облачности, которая искажает сигнал, регистрируемый на борту ИСЗ. Это обстоятельство обуславливает необходимость осуществления многомерных процедур интерполяции и экстраполяции. В качестве операторов последних по пространственно-временным координатам могут использоваться приближенные матричные операторы прогностической модели. Четырехмерный анализ спутниковой и обычной информации обеспечивает непрерывное обновление пространственных полей основных метеорологических величин, которые служат начальными условиями для системы прогностических дифференциальных уравнений. В то же время, мы

исходим из того, что поля метеорологических элементов определяют состояние популяции саранчи.

В основу предлагаемого подхода для совместного усвоения данных обычных и спутниковых наблюдений положена методика спектрального анализа. Суть этого метода заключается в биортогональном представлении пространственно-временной зависимости данного геофизического элемента в виде линейной комбинации произведения соответствующих временных мод и пространственных гармоник.

В то же время, такой подход может быть с успехом применен и для описания временной эволюции радиационного и теплового баланса. Чтобы осуществить крупномасштабное картирование по ведущим факторам развития растительности по данным дистанционного зондирования необходимо располагать материалами по элементам радиационного, теплового баланса и минеральному составу почвы. Технология восстановления геофизического поля представляет собой сочетание известного метода сингулярных разложений (в оригинале SVD-singular value decomposition) и статистической регуляризации. Важное преимущество метода SVD заключается в том, что он позволяет одновременно получать базисные функции разложения по пространственным и временным координатам.

Для успешной реализации прогноза необходимо следующее:

- Спутниковая информация о состоянии системы «почва-растительность» (см. Покровский и Королевская, 2001; Pokrovsky, and Roujean, 2002).
- Данные натурных полевых акридологических исследований.
- Данные многолетних режимных акридологических исследований.
- Данные многолетних метеорологических измерений.

На основе этих материалов целесообразно выполнить следующие исследования:

1. Создание базы данных ежедневных метеорологических наблюдений за последние 20 лет по следующим элементам: приземные температура, давление, составляющие поля ветра, осадки, скорость испарения, коротко и длинноволновые потоки уходящей радиации. Информация должна быть получена по данным наземных и спутниковых наблюдений.

2. Проведение преобразования данных акридологических исследований о миграции и размножении саранчи за предыдущий период в форму, удобную для математического моделирования.

3. Изучение статистических связей между вариациями метеорологических параметров и характеристик, связанных со вспышкой саранчи.

4. Осуществление классификации режимов атмосферной циркуляции у поверхности суши и типизации других метеорологических полей на исследуемой территории.

5. Создание статистической прогностической модели, основанной на использовании методологии нейронных сетей и фаззи анализа.

6. Проведение настройки модели и определение периода самообучения.

7. Выполнение верификации модели прогнозирования о миграции и размножении саранчи на независимой выборке данных.

8. Оценка точности прогнозирования вспышки саранчи на основе данных за последние годы.

Современные изменения климата предполагают глобальное потепление, которое влечет за собой увеличение осадков. Однако, в районах с континентальным климатом, к которой относится Западная Сибирь, предполагается, наоборот, уменьшение осадков, что может благоприятствовать активизации саранчи. Это указывает на актуальность постановки и решения задачи прогнозирования вспышек саранчи.

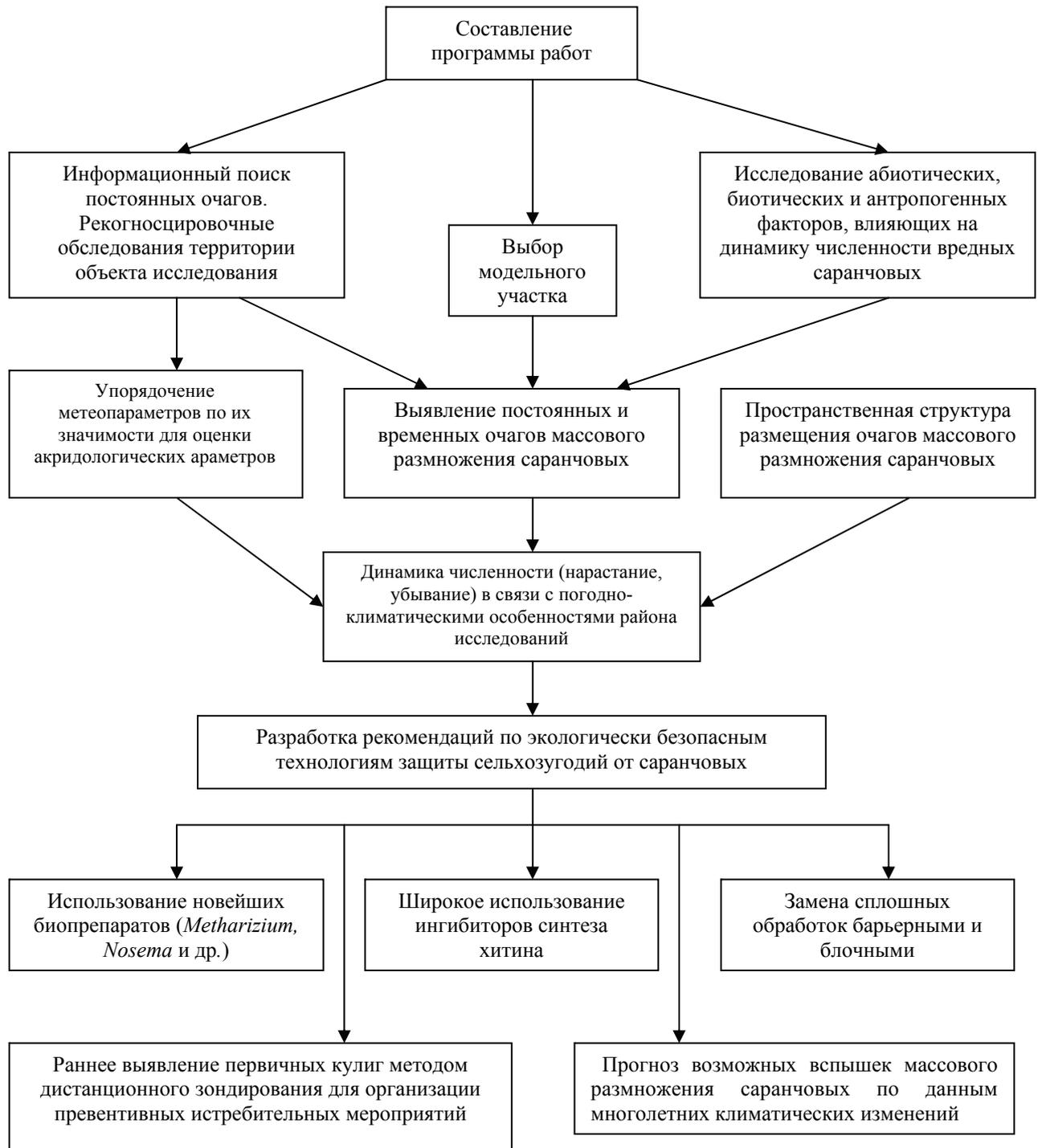


Рис. 3. Схема использования климатической (погодной) информации при прогнозировании вспышки саранчи.

Литература

- Бей-Биенко Г.Я., 1936.** Распространение и зоны вредности мароккской саранчи (*Dociostaurus maroccanus* Thunb.) в СССР. *Итоги науч.-исслед. работ ВИЗР за 1935г.*: 16-20.
- Викторов Г.А., 1967.** Проблемы динамики численности насекомых на примере черепашки. *М.: Наука*: 1-271.
- Витинский Ю.И., 1973.** Цикличность и прогнозы солнечной активности. *Л.: Наука*: 1-258.
- Дружинин И.П., Хамьянова Н.В., Лобановская Ю.А., 1977.** Прогноз гидрометеорологических элементов (с годовой заблаговременностью). *Новосибирск: Наука*: 1-163.
- Захаров Л.З., 1950.** Массовые размножения азиатской саранчи и их прогноз. *В кн.: Массовые размножения животных и их прогноз. Киев, 1*: 236-239.
- Камбулин В.Е., 1992.** Поисковый (исследовательский) прогноз массовых размножений азиатской саранчи (*Locusta migratoria* L.) в Балхаш-Алакольском гнездилище. *Экология, 1*: 81-84.
- Кеппен Ф.П., 1870.** О саранче и других вредных прямокрылых из сем. Acridodea, преимущественно по отношению к России. *Тр. Русск. энтомол. о-ва, 5*: 1-352. СПб.
- Кулагин Н.М., 1921.** О появлении саранчовых в XVIII и XIX столетиях в Европе. *Тр. 2-го Всерос. энтомо-фитопатол. съезда: 109-122. Петербург.*
- Максимов А.А., 1984.** Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. *Новосибирск: Наука*: 1-250.
- Максимов А.А., Ермаков Л.Н., 1985.** Циклические процессы в сообществах животных. *Новосибирск: Наука*: 1-234.
- Никольский В.В., 1925.** Перелетная или азиатская саранча *Locusta migratoria* L. *Л.-М.: Новая деревня*: 1-330.
- Покровский О.М., 1996.** Оптимальное построение региональной системы экологического мониторинга. *Экодинамика и экологический мониторинг Санкт-Петербургского региона в контексте глобальных изменений*: 328-386. СПб.
- Покровский О.М., 2003.** Моделирование непрерывного усвоения спутниковой и наземной информации при анализе полей суммарной радиации у поверхности Земли. *Исследования Земли из космоса, 1*: 16-27.
- Покровский О.М., 2004.** Определение среднемесячных осадков на территории России по данным дистанционных измерений зондирования. *Исследования Земли из космоса, 3*: 3-13.
- Покровский О.М., Королевская И.П., 2001.** Восстановление компонентов теплового баланса по данным спутниковых наблюдений. *Исследования Земли из космоса, 5*: 85-93.
- Покровский О.М., Королевская И.П., Рябова Л.М., 2004 а.** Моделирование дневного хода компонентов радиационного баланса с помощью нейронных сетей в схеме усвоения данных дистанционного зондирования. *Исследования Земли из космоса, 1*: 3-13.
- Покровский О.М., Махоткина Е.Л., Покровский И.О., Рябова Л.М., 2004 б.** Тенденции межгодовых колебаний составляющих радиационного баланса и альbedo поверхности суши на территории России. *Метеорология и гидрология, 5*.
- Предтеченский С.А., 1930.** Практические результаты экологического изучения саранчи в Средней России. *Тр. по защите раст., энтомол., 7*: 150-159. Л.
- Саранчовые Казахстана, Средней Азии и сопредельных территорий. 2002.** Под ред. А.В. Лачининского. *США: Ларамы*: 1-387.
- Цыпленков Е.П., 1962.** О критериях прогноза появления стадной фазы азиатской саранчи. *Вопр. экол., 7*: 196-198. М.
- Щербиновский Н.С., 1952.** Пустынная саранча шистоцерка. *М.: Сельхозгиз*: 1-416.
- Pokrovsky O.M., R.H.F. Kwok and C.N. Ng, 2002.** Fuzzy logic approach for description of meteorological impacts on urban air pollution species: a Hong Kong case study. *Computers and Geosciences, 28 (1)*: 119-127.

Pokrovsky O.M., R.H.F. Kwok., 2002. Modeling of meteorological factor impacts on Urban Air Pollution Species by fuzzy logic approach. *In book "Air Pollution and Simulation", B.Sportisse (Ed), Springer: 513-526.*

Pokrovsky, O.M., J.L. Roujean, 2002. Land surface albedo retrieval via kernel-based BRDF modeling: I. Statistical inversion method and model comparison. *Remote Sensing of Environment, 84: 100-119.*

Summary

Childebaev M.K., Pokrovsky, O.M., Zhalmuchamedova Zh.D., Ivanov A.I. Prognosis of mass reproduction outburst of locust using a climate forecasting method.

A short-term climate forecasting method, exploiting an assimilation procedure addressed to various types of conventional and satellite remote sensing data, is discussed. This dataset include most atmosphere-land surface energy and water exchange variables: soil moisture and temperature, radiation and heat fluxes, precipitation amount and others. An outline for relationship between local climate variable anomaly and locust reproduction-propagation extreme processes in Western Siberia and Northern Kazakhstan is argued. A methodical background for locust extreme event prediction is considered.