

<p>УДК 631.4</p> <p>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ</p> <p>Рекс Леонид Мечеславович д.т.н., профессор, академик РАЕН</p> <p><i>Московский государственный университет природообустройства</i></p> <p>Умывакин Василий Митрофанович д.г.н., профессор, академик РАЕН</p> <p><i>Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия</i></p> <p>Сафронова Татьяна Ивановна д.т.н., доцент</p> <p><i>Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия</i></p> <p>Приходько Игорь Александрович ассистент</p> <p><i>Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия</i></p> <p>Решение экологических проблем и создание оптимальной мелиоративной обстановки на рисовой оросительной системе (РОС) не возможно без использования математической модели экологической ситуации. В статье предлагается идея решения проблемы с использованием системно-когнитивного анализа в алгоритме управления мелиоративным состоянием РОС.</p> <p>Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ, РИСОВАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА, СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МЕЛИОРАТИВНОЙ ОБСТАНОВКИ, СИСТЕМНО-КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ, АЛГОРИТМ.</p>	<p>UDK 631.4</p> <p>THE MATHEMATICAL MODEL OF ECOLOGICAL SITUATION ON THE RICE IRRIGATION SYSTEM</p> <p>Rex Leonid Mecheslavovich Dr. Sci. Tech., professor, academic RANS</p> <p><i>The Moscow state university of nature arrangement, Moscow, Russia</i></p> <p>Umivakin Vasilii Mitrofanovich Dr. Sci. Geo., professor, academic RANS</p> <p><i>The Voronezh state university, Voronezh, Russia</i></p> <p>Safronova Tatiana Ivanovna Dr. Sci. Tech., assistant professor</p> <p><i>The Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia</i></p> <p>Prichodko Igor Aleksandrovich assistant</p> <p><i>The Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia</i></p> <p>Solving of problems of the influence of irrigation on ecological situation and creation of optimum land-reclamation conditions are impassible without using of the mathematical modeling methods. The work provides the idea of solving of the land-reclamations problems with the using of systematic-cognitive analysis.</p> <p>Keywords: MATHEMATICAL MODEL, ECOLOGICAL SITUATION, RICE IRRIGATION SYSTEM, CREATION, OPTIMUM LAND-RECLAMATION CONDITIONS SYSTEMATIC-COGNITIVE ANALYSIS, ALGORITHM.</p>
---	---

Производство риса было и остается важным стратегическим направлением развития орошаемого земледелия. Краснодарский край обладает наиболее подходящими условиями для производства риса и развития рисосеяния среди других районов. Преобладающая часть рисовых почв дельты р. Кубань засолена в различной степени и интенсивность рассоления их очень низкая. Процессы вторичного засоления, ощелачивания, обесструктурирования, осолонцевания, слитизации широко развиты на оросительных системах Северного Кавказа, включая рисовые системы дельты р.Кубань. Основная причина перечисленных последствий орошения - подъем уровня минерализованных грунтовых вод, нарушение режимов и технологии орошения. Вторичное засоление почв возникает не только при орошении, но и при осушении земель

Необходимо разработать методы изучения, предотвращения и решения региональных экологических проблем с использованием геоинформационных систем, критериев и методов оценки качества состояния рисовых оросительных систем (РОС), способов прогнозирования региональных процессов и управления экологическими ситуациями.

Основу современного земледелия должны составлять информационные и геоинформационные технологии, которые на современном уровне своего развития открывают путь к существенному совершенствованию методов принятия решений в мелиорации и агрономии для формирования высоких урожаев и разработки систем мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв.

В КубГАУ разработана модель рисовой оросительной системы с использованием системно-когнитивного анализа. [1] на основе ретроспективных данных, накопленных в результате мониторинга в условиях реальной эксплуатации оросительной системы в течение

определенного достаточно длительного периода. системы Модель обеспечивает выдачу пользователю информации о состоянии объекта управления, а также об условиях его функционирования, информационные модели непрерывно обновляются, а выходная информация содержит прогноз состояния РОС при различных сценариях воздействия природных и антропогенных факторов.

Модель позволяет существенно улучшить качество ведения кадастра мелиоративного состояния РОС и дает возможность создать автоматизированную систему управления ее водным режимом, позволяет решать вопросы экономии поливной воды, повышения продуктивности и охраны земель.

Приводим управляющий алгоритм мелиоративным состоянием рисовой оросительной системы [2,4,5]:

I.Формализация предметной области: разработка описательных и классификационных шкал и градаций, необходимых для формализованного описания рисовой оросительной системы. Описательные шкалы описывают факторы различной природы, влияющие на поведение АОУ, то есть РОС, а классификационные – все его состояния.

Отметим некоторые факторы, влияющие на поведение РОС: природные - среднемесячные температуры, осадки; антропогенные – площади орошения, тыс. га (рисовые севообороты, овощные и кормовые севообороты), коэффициент земельного использования, водопотребление, млн. м³ /год (в том числе на сбросной воде), средняя оросительная норма, м³/га (рисовые севообороты, овощные и кормовые севообороты), коэффициент полезного действия системы, типы рисовых карт и их процентное соотношение, протяженность оросительной и сбросной сети, м³/га (магистральный канал и межхозяйственная сеть, внутрихозяйственная сеть), объем планировки, м³/га. Для

классификационных шкал можно использовать разработанные во ВНИИРиса критерии оценки мелиоративного состояния почв. [3]

II. Формирование обучающей выборки: на вход системы вводим информацию о состоянии среды и объекта управления, а также вариантах управляющих воздействий. В результате формируется обучающая выборка. Управляющие воздействия можем сформулировать по разработанным агромелиоративным требованиям к технически совершенной рисовой системе [3].

- После наклёвывания семян риса и прекращения увлажнительных поливов дренаж рисовой системы должен понизить уровень грунтовых вод на глубину 40-50 см за 5-6 суток. В этом случае создаётся наиболее благоприятное сочетание в почве влаги, воздуха и тепла для получения дружных всходов заданной густоты. Кроме того, при наличии такого дренажа полевые предпосевные и уборочные работы практически не прерываются совсем после выпадения обильных осадков.
- В период постоянного затопления посевов дренаж должен обеспечить условия для предупреждения вклинивания грунтовых вод в полосах вдоль оросительных каналов и низких чеков при их террасном расположении, а так же для осуществления 2-3 раза за сезон на всей площади карты промывного режима орошения со средней скоростью фильтрации с поверхности чека 1-2 см в сутки с целью удаления продуктов болотного (анаэробного) разложения и солей и для обогащения почвы кислородом, растворённом в поливной воде. Изложенные требования могут быть осуществлены на рисовых картах с внутричековым закрытым горизонтальным дренажем.
- Оросительная сеть рисовой системы должна обеспечить затопление рисового чека не более, чем за 20-24 часа, каждой отдельной карты – за 3 суток, а всей системы в целом за 14-18 суток. В этом случае создаются

благоприятные условия для исключения сезонного (ирригационного) засоления и заболачивания почв и существенной экономии воды.

- Через 40-60 суток после окончания оросительного сезона и до начала следующего для создания благоприятного окислительно-восстановительного режима и восстановления плодородия длительно затопленной почвы дренаж должен поддерживать грунтовые воды на глубине не менее 1,5 м.

III. Обучающая выборка обрабатывается обучающим алгоритмом, на основе чего им формируются решающие правила (обобщенные образы состояний АОУ, отражающие весь спектр будущих возможных состояний объекта управления), а также определяется ценность факторов для решения задач подсистем идентификации, мониторинга, прогнозирования и выработки управляющих воздействий. Для организации подсистемы выработки управляющих воздействий используем разработанные ВНИИ риса критерии оценки мелиоративного состояния почв РОС [3].

IV. Факторы, не имеющие особой прогностической ценности, корректным способом удаляются из системы. Данный процесс осуществляется с помощью итерационных алгоритмов.

V. Верификация выполняется после каждой адаптации или пересинтеза модели. Для этого обучающая выборка копируется в распознаваемую и осуществляется ее автоматическая классификация (в режиме распознавания). Затем рассчитывается так называемая внутренняя дифференциальная и интегральная валидность, являющиеся детализированной и обобщающей характеристиками качества решающих правил.

VI. Принятие решения об эксплуатации модели или ее пересинтезе. Если результаты верификации модели удовлетворяют разработчиков АСУ РОС, то она переводится из пилотного режима, при котором управляющие решения генерировались, но не исполнялись, в режим экспериментальной

эксплуатации, а затем и опытно–производственной эксплуатации, когда они реально начинают использоваться для управления. Если же модель признана недостаточно адекватной, необходимо осуществить ее повторный синтез, начиная с пункта I. При этом используются следующие приемы: расширение набора факторов, т.к. значимые факторы могли не войти в модель; увеличение объема обучающей выборки, т.к. существенные примеры могли не войти в обучающую выборку; исключение артефактов, т.к. в модель могли вкратиться существенно искажающие ее, не подтверждающиеся данные; пересмотр экспертных оценок.

VII. Идентификация и прогнозирование состояния АОУ.

VIII. Оценка качества идентификации состояния АОУ. Если качество идентификации высокое, то состояние АОУ рассматривается как типовое, а значит причинно-следственные взаимосвязи между факторами и будущими состояниями данного объекта управления считаются адекватно отраженными в модели и известными (т.е. если качество идентификации высокое, то считается, что объект относится к генеральной совокупности, по отношению к которой обучающая выборка репрезентативна). Поэтому в этом случае осуществляется переход на пункт IX (выработка управляющего воздействия и последующий анализ). Иначе – считается, что на вход системы идентификации попал объект, не относящийся к генеральной совокупности, адекватно представленной обучающей выборкой. Поэтому в этом случае информация о нем поступает на пункт XIII, начиная с которого запускается процедура пересинтеза модели, что приводит к расширению генеральной совокупности, представленной обучающей выборкой.

IX. Выработка решения об управляющем воздействии производится путем решения обратной задачи прогнозирования. Распознавание образов - это идентификация состояния рассматриваемого объекта. Применение систем

распознавания для прогнозирования результатов управления при различных сочетаниях управляющих воздействий позволяет рассматривать и сравнивать различные варианты управления и выбирать наилучшие из них по определенным критериям.

При планировании комплекса технологических операций будем учитывать оценку трудности достижения требуемого качества d_j характеризующую степень выполнения требований, предъявляемых к качеству ресурса, разработанную Рексом Л.М., Ростопшиным Ю.А., Русиновым П.С, Русманом И.Б., Умывакиным В.М. Оценка может трактоваться как обобщенная мера степени риска недостижения требуемого качества на основе сопоставления значения показателя качества и нормативного ограничения.

Рассмотрим построение частной оценки d_{ij} трудности достижения на i -м чеке рисовой системы требуемого качества j -ой компоненты комплексного ресурса с учетом требований, предъявляемых к этой компоненте [4].

Обозначим через m_j и e_j соответственно безразмерную характеристику достигнутого качества и требование к качеству j -ой компоненты комплексного ресурса. Следует подчеркнуть, что нормативные требования носят региональный характер.

Считаем, что $m_j > 0$ и $e_j < 1$, $j=1,2,\dots,m$. Требование к качеству по j -й компоненте выполнено, если $m_j \geq e_j$. Причем $m_j = 1$ соответствует идеальное качество, а $m_j = 0$ – предельно низкое качество по j -й компоненте. Величина m_j называется абсолютной оценкой качества j -ой компоненты ресурса.

Частная оценка d_j , как функция величин m_j и e_j , должна удовлетворять следующим условиям:

1. $0 < d_j < 1$ при $m_j > e_j$;

2. $d_j = 0$ при $e_j = 0$ и $m_j > 0$ (трудность минимальна, если нет никаких требований к качеству);
3. $d_j = 0$ при $m_j = 1$ и $m_j > e_j$ (трудность минимальна при предельно возможном качестве независимо от требований);
4. $d_j = 1$ при $m_j = e_j$ (трудность максимальна при предельно низком допустимом качестве).

При $m_j > e_j$ этим условиям удовлетворяет единственная функция вида:

$$d_j = \frac{e_j(1 - m_j)}{m_j(1 - e_j)}; \quad (1)$$

Доопределяем функцию (1.1) следующим образом [4]:

$$d_j = 1 \text{ при } m_j = e_j = 1;$$

$$d_j = 0 \text{ при } m_j = e_j = 0.$$

Итак, оценка d_j характеризует степень выполнения требований, предъявляемых к качеству ресурса и может трактоваться как обобщенная мера степени риска недостижения требуемого качества на основе сопоставления значения показателя качества и нормативного ограничения. Автоматизированная система управления, построенная на традиционных принципах, может работать только на основе параметров, закономерности связей которых уже известны, изучены и отражены в математической модели. В итоге АСУ, основанные на традиционном подходе, практически не эффективны с активными многопараметрическими слабодетерминированными объектами управления, как рисовая оросительная система. Поэтому для обеспечения устойчивого управления рисовой оросительной системой следует применять системно – когнитивный анализ как технологию синтеза и эксплуатации рефлексивных АСУ активными объектами.

X. Типологический анализ классов и факторов - кластерно-конструктивный и когнитивный анализ, семантические сети, когнитивные диаграммы состояний АОУ и факторов. Определяется набор управляющих воздействий, чтобы при невозможности применения некоторого управляющего фактора можно было заменить его другим фактором.

XI. Многофакторное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов включает.

- Оценка адекватности принятого решения об управляющих воздействиях: если АОУ перешел в заданное целевое состояние, то осуществляется переход на вход адаптации содержательной информационной модели (Пункт II): в подсистеме идентификации предусмотрен режим дополнения распознаваемой выборки к обучающей, чтобы в последующем, когда станут известны результаты управления, этой верифицированной (т.е. достоверной) оценочной информацией дополнить обучающую выборку и переформировать решающие правила (обучающая обратная связь). Если АОУ не перешел в заданное целевое состояние, переход на вход повторного синтеза модели (Пункт I). При этом могут быть изменены и описательные, и классификационные (оценочные) шкалы, что позволяет качественно расширить сферу адекватного функционирования РАСУ АО.

- Неформализованный поиск нетипового решения об управляющем воздействии и подготовка данных для повторного синтеза модели, как в случае, если решения оказалось удачным, так и в противном случае.

XII. Оказание управляющего воздействия на рисовую оросительную систему.

XIII. Подготовка данных для повторного синтеза модели, как в случае, если решение оказалось удачным, так и в противном случае. Запоминание новых факторов, новых классов, соответствующих новым целевым и нежелательным состояниям.

Управляющие воздействия могут задаваться экспертами. В работах ВНИИ риса [3] отмечается, что переустройство РОС должно заключаться в повышении пропускной способности РОС и укреплении русла каналов бетонной "одеждой", в замене сооружений на более прочные автоматизированные, с большей пропускной способностью для осуществления оперативного регулирования режима поверхностных вод.

Дренажная сеть должна активно регулировать режим грунтовых вод.

– После выпадения обильных осадков в весенний предполивной период отвести поверхностную воду за одни сутки.

– После наклёвывания семян риса понизить УГВ на глубину 40-50 см за 5-6 суток.

– Через 40-60 суток после окончания оросительного сезона и до начала следующего поддерживать грунтовые воды на высоте 1, 5-1, 8 м.

Интенсивность и последовательность подачи воды на поля, карты, чеки должна обеспечивать соблюдение главного принципа эколого-мелиоративного затопления – смыкание поверхностных и грунтовых вод происходит на глубине ниже высоты максимальной капиллярной каймы для заданного типа почв.

$$q \geq WT(B + I), \quad (2)$$

где B – впитывание с поверхности, q – расход воды на затопливаемую площадь, I – испарение, W – площадь затопления, T – время.

При составлении плана-графика затопления необходимо учитывать пропускную способность каналов и сооружений, количество тактов водооборота, план размещения культур рисового севооборота.

Отличие предлагаемого управляющего подхода от методов обобщения экспертных оценок состоит в том, что в предлагаемом подходе от экспертов требуются лишь сами решения, а весовые коэффициенты автоматически подбираются в соответствии с моделью таким образом, что в сходных случаях будут подбираться решения, аналогичные

предлагаемым экспертами. В традиционных подходах от экспертов требуют либо самих весовых коэффициентов, либо правил принятия решения.

Интенсификация рисоводства способствует не только увеличению продуктивности агросистем, но и повышает степень экологического риска. В зоне влияния РОС часто отмечается подтопление и заболачивание территорий, вторичное засоление, а также загрязнение дренажно-сбросными стоками водных источников. Потому актуальной научной задачей является анализ и оценка создавшейся экологической ситуации на действующих РОС и разработка методики количественных показателей экологического состояния РОС.

К ведущим показателям гидрогеологического мелиоративного состояния земель относится глубина грунтовых вод и их минерализация.

В условиях рисовой оросительной системы кризисным состоянием следует считать подъем уровня грунтовых вод до глубин, близких к критическим, когда может начаться засоление почв, и катастрофическим, когда засоление уже наступило.

Важно подчеркнуть, что глубина залегания грунтовых вод является региональным и динамичным показателем, как во времени, так и по площади. Уровень грунтовых вод – управляемый показатель, причем управление им может осуществляться как с помощью оперативных мероприятий, проводимых без нарушения процесса выращивания риса (оптимизация поливных режимов, текущий ремонт оросительной и коллекторно-дренажной сети), так и с помощью долгосрочных мероприятий, например, прокладка горизонтального дренажа, что потребует проектирования, строительства и вывода из эксплуатации рисовой оросительной системы.

Ответственность принятия решений по мелиоративному улучшению орошаемых территорий предъявляет повышенные требования к качеству

ведения кадастра мелиоративного состояния земель, когда вероятность риска должна быть сведена к минимуму.

Пренебрежение неопределенностями при управлении может привести к крупным просчетам или непоправимым ущербам за счет увеличения частоты появления, либо неожиданного возникновения кризисных ситуаций.

При оценке качества развития регионального природопользования большое значение имеют вопросы управления риском, когда приходится принимать решение в условиях высокой степени неопределенности и множества ограничений. Снижение уровня неопределенности, улучшение информационного обеспечения принимаемых решений может быть достигнуто за счет повышения надежности и полноты данных мониторинга, за счет развития системы стандартов качества природной среды, оценки рисков и возможностей их снижения. Оценку риска следует проводить по каждому фактору риска, оказывающему неблагоприятное воздействие на экосистему (например, степень вторичного засоления, увеличение плотности почвы или явление переувлажнения земель.) [2]

Так как последовательная процедура оценки риска включает опознание (идентификацию) опасности, то для оценки критического состояния следует использовать соответствующий информационный портрет класса распознавания, где по заданному состоянию определяется система факторов, детерминирующих это состояние. Например, для предотвращения вторичного засоления рекомендациями для лиц, принимающих решения (ЛПР), является информационный портрет класса распознавания «площадь орошаемых земель с минерализацией грунтовых вод >3 г/л - максимальна».

Таблица 1 - Критерии для выделения зон экологической напряженности по степени вторичного засоления почв

Степень засоления	Площадь проявления показателя, %			
	< 5	5 - 19	20 - 50	> 50
Незасоленные	1	1	1	1
Слабозасоленные	2	2	2	2
Среднезасоленные	2	3	3	4
Сильнозасоленные	3	3	4	5
Солончаки	3	4	5	5

Примечание: * Зоны: 1 – относительного благополучия; 2 – экологического риска; 3 – экологического кризиса; 4 – экологического бедствия; 5 – экологической катастрофы.

Для выбора экономически наилучшего варианта природоохранных мероприятий в тех случаях, когда сравниваемые варианты обеспечивают достижение одинакового качества окружающей среды, используют показатель сравнительной экономической эффективности природоохранных затрат. Этот показатель определяется величиной минимально необходимых эксплуатационных расходов и капитальных вложений в реализацию природоохранных мероприятий.

Приведённые затраты рассчитывают по формуле:

$$Z = C + E_n K,$$

где K – капитальные вложения в природоохранные мероприятия, C – годовые эксплуатационные расходы на обслуживание и содержание фондов природоохранного назначения, E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений природоохранного назначения, его величина в соответствии с Типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений принимается равной 0,12 [2].

Выбирается вариант, которому соответствует наименьшее значение величины затрат.

Для выбора варианта можно использовать бонитет мелиорированных почв (БМП) по методике Рекса Л.М. [5].

$$БМП = K_{ур. max}^T \times T_{p.p.} \times K_{вл.} \times K_{почв} \times K_{аз.} \quad (3)$$

В формуле (*) использованы обозначения:

$K_{ур. max}^T = \frac{Y_{max}}{T_{p.p. max}}$ - коэффициент урожайности термического ресурса;

$T_{p.p.} = \frac{\sum t > 10^{\circ}C}{1000}$ - термический ресурс региона ($\sum t > 10^{\circ}C$ - сумма температур воздуха выше $10^{\circ}C$, 1000 – сумма температур выше $10^{\circ}C$ близ северной границы земледелия);

$K_{почв}$ – коэффициент, характеризующий почвы данного региона по засоленности и УГВ, $K_{почв}$ определяем по информационным портретам мелиоративного состояния РОС, $K_{аз}$ – коэффициент, характеризующий агротехнику.

Зависимость (*) дает оценку мелиоративного воздействия на почвы – бонитет возрастает с увеличением $K_{вл.}$, $K_{почв}$, $K_{аз}$. Значение $K_{вл.}$ изменяется в результате изменения оросительного модуля, л/(с*га), дренажного модуля, л/(с*га), а также уровня грунтовых вод, м. Реализация соответствующих мероприятий требует затрат водных, трудовых, земельных, энергетических и материальных ресурсов. Увеличение $K_{почв}$ в зависимости от региона требует различных комплексов мелиоративных мероприятий (внесение гипса, т/га, рыхление, м, планировка, м³/га, промывка, м³/га).

В зависимости от степени воздействия затраты ресурсов могут быть разными. Комплекс мероприятий представляется в виде морфологической схемы [5], в которой указывают мероприятие, степень его реализации и требуемые ресурсы. В морфологической схеме степень реализации

мероприятия следует выбирать по информационным портретам мелиоративного состояния РОС. [2]

Возможное число вариантов определяется их произведением по каждому мероприятию. После генерирования всех вариантов получаем таблицу возможных путей увеличения бонитета рисовых почв.

Такая таблица позволит решить серию практических задач в зависимости от целей заказчика:

- 1) получить прирост продукции при минимальных затратах ресурсов,
- 2) учесть ограничения на имеющиеся ресурсы и т.д.

Таким образом, по бонитету исследуемых рисовых почв, в определении которого используются информационные портреты состояния РОС, определяется прирост бонитета в зависимости от набора мероприятий и их действенности и разрабатываются способы максимального противодействия неблагоприятным воздействиям.

На рисунке 1 представлен алгоритм управления мелиоративным состоянием рисовой оросительной системы.

В приведенном алгоритме оценки мелиоративного состояния оросительной системы производятся по критериям, характеризующим обеспеченность выполнения экологических требований с учетом объемов капитальных и эксплуатационных затрат.

Предлагаемый алгоритм автоматизированной системы управления мелиоративным состоянием рисовой оросительной системы позволяет рассматривать и сравнивать различные варианты управления и выбирать наилучшие из них по определенным критериям.

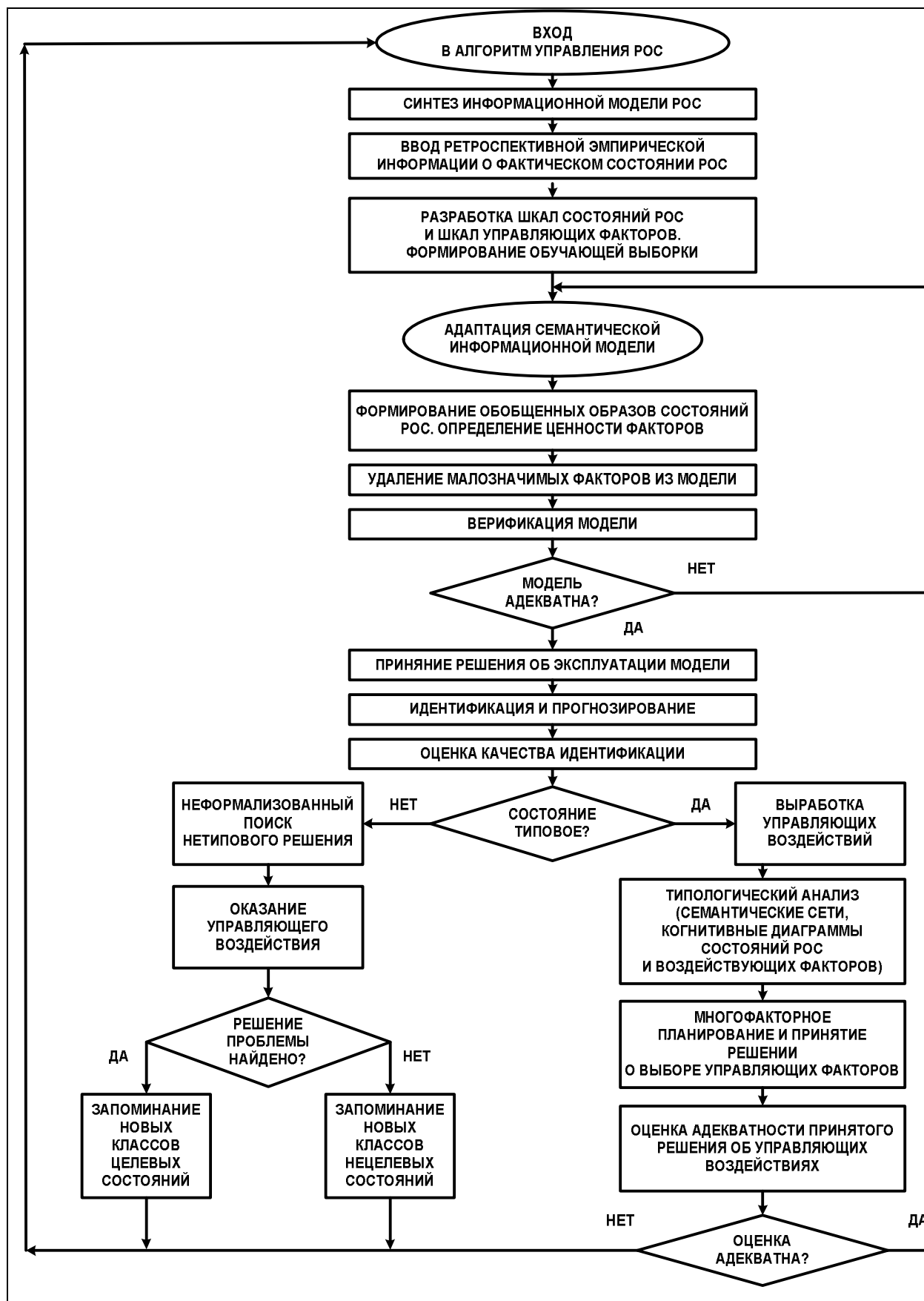


Рисунок 1 – Алгоритм управления мелиоративным состоянием РОС

Список литературы

1. Луценко, Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). / Е.В. Луценко. – Краснодар: КубГАУ. 2002. –605 с.
2. Сафронова Т.И. Охрана земель в управлении мелиоративным состоянием рисовой оросительной системы. / Т.И. Сафронова // Дис. раб. на соиск. степ. док. тех. наук. КубГАУ. – Краснодар. – 2006. – 347 с.
3. Попов В.А. Регулирование грунтовых вод на рисовых оросительных системах. Краснодар. – 1984. – 96 с.
4. Рекс Л.М. Интегральные оценки экологической безопасности в проблемах рационального природообустройства в регионе. / Л.М. Рекс, Ю.А. Ростопшин, П.С. Русинов, И.Б. Руссман, В.М. Умывакин // Институт системного анализа РАН. – М.: – 1999. – 48 с.
5. Рекс Л.М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. / Л.М. Рекс // М.: АСЛАН. – 1995. – 167 с.