

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ЭКОСИСТЕМ АКВАТОРИИ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

А.В. Скатков¹, А.А. Брюховецкий¹, Ю.Е. Шишкин^{1,2}

¹ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет",

РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

²Институт природно-технических систем,

РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: iurii.e.shishkin@gmail.com

Рассматриваются основные особенности, связанные с разработкой интеллектуальной технологии обнаружения аномалий экосистем акватории г. Севастополя. Предлагается подход, особенностью которого является обеспечение непрерывного мониторинга ключевых показателей окружающей среды, представленных в виде неоднородных потоков информации: гидрометеорологической информации, данных об уровне загрязнения и составе воздуха, почвы, экологического контроля, мониторинга предельно допустимых выбросов вредных веществ с целью обнаружения изменения состояния потока данных мониторинга. Предлагаются нестационарная оптимизационная модель управления и модель обеспечения качества функционирования системы мониторинга. Представлена структура проектируемой программной системы поддержки принятия решений, сформулированы основные требования по реализации первоочередных задач.

Ключевые слова: системы мониторинга, обнаружение аномалий, интеллектуальная технология, Большие Данные, моделирование сложных систем, интеллектуальный анализ данных.

Поступила в редакцию: 27.09.2018.

Введение. С ростом городов, развитием производства техногенная трансформация среды приобретает глобальный характер. Проблема оперативного контроля выбросов вредных веществ в акватории, прибрежных территориях, в особенности таких городов, как Севастополь, где сосредоточено базирование гражданских, туристических, торговых, военных объектов, а также принимая во внимание все возрастающую антропогенную нагрузку на природные комплексы, стоит чрезвычайно остро. Очевидно, что активизация любого вида деятельности в регионе повлечет за собой антропогенное преобразование береговой зоны и, как следствие, экосистем акватории г. Севастополя. В такой ситуации особое значение приобретает информация о состоянии береговой зоны и акватории города. Черное море омывает город с юга, запада, севера. Для г. Севастополя оно является критическим и важным ресурсом, для сохранения которого необходимо осуществление постоянного мониторинга ключевых параметров и выполнение анализа тенденций их изменения с целью оперативного обеспечения принятия ответных мер по лик-

видации критических событий до того, как они наступят. Данный аспект регламентируется ФЗ N 155-ФЗ "О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации", для обеспечения соблюдения которого требуется комплексное использование как средств мониторинга физико-химических параметров акватории, так и единой интегрированной вычислительной и сетевой среды и инструментальных методов выявления аномалий.

Предлагаемый в статье подход соответствует концепции приоритетной региональной программы "Умный город" в соответствии со "Стратегией социально-экономического развития г. Севастополя до 2030 года" в частности раздела № 4.1, который основывается на Распоряжении Правительства РФ от 03.12.2014 № 2446-р "Об утверждении Концепции построения и развития АПК "Безопасный город". Реализация этой концепции предусматривает, в том числе, создание и обеспечение непрерывного мониторинга ключевых показателей окружающей среды.

Поэтому решение задач, связанных с

разработкой интеллектуальных технологий как ключевого составного компонента системы мониторинга, оперативно подстраивающейся под изменения внутренних состояний критической экосистемы акватории Севастопольского региона и обнаруживающей критические события с целью оперативного принятия неотложных мер по их ликвидации, является необходимостью.

Возникает объективная потребность разработки методов и средств, предназначенных для реализации системы непрерывного мониторинга ключевых показателей окружающей среды и прогнозирования возникновения аномальных состояний критических экосистем.

Постановка задачи. Разработать научно-методические основы создания и развития автоматизированных систем и технологий экологического мониторинга и оперативного контроля моря и суши, изучения процессов на границах: вода – атмосфера, вода – донные отложения, мористая – береговая часть методами дистанционного зондирования и контактных измерений с целью обнаружения аномалий экосистем акватории г. Севастополя. Предлагается подход к решению задачи создания и обеспечения непрерывного мониторинга ключевых показателей окружающей среды, представленных в виде неоднородных потоков информации: гидрометеорологической информации, данных об уровне загрязнения и составе воздуха, почвы, экологического контроля, мониторинга предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосфере, почве, воде с целью обнаружения изменения состояния потока данных мониторинга. При этом целью мониторинга является не только сбор информации об объекте, но и обнаружение критических событий для оперативного принятия неотложных мер по их ликвидации и прогнозирования.

Подход направлен на решение междисциплинарной фундаментальной научной задачи принятия решений в условиях неопределенности, включающей подзадачу обнаружения аномальных значений данных в рамках комплексной системы оперативного экологического мониторинга критических экосистем (состояния и загрязнения окружающей

среды, водных биологических ресурсов, прибрежных почв и атмосферного воздуха) акватории Севастопольского региона на границе море – береговая часть.

Материалы и методы. В настоящее время процесс оперативного выявления аномалий данных мониторинга окружающей среды и критических объектов инфраструктуры является комплексной, трудоемкой и трудно формализуемой задачей. Это связано с тем, что, как правило, каждый экземпляр отслеживаемых данных мониторинга имеет сложную многомерную структуру и может включать множество переменных и параметров [1, 2]. В комплексных информационных системах контроля окружающей среды и критически важных объектов реализуется механизм поддержки принятия решений по выявлению критического состояния объекта мониторинга. Совместное использование средств оперативного мониторинга, имитационного моделирования и вероятностных моделей позволяет прогнозировать динамику изменения состояния экосистемы, предупреждать о возможных аномалиях и превентивно выполнять корректирующие действия, предотвращая тем самым возникновение аварийных ситуаций [3, 4]. На сегодняшний день задачи системного мониторинга включают задачи контроля, управления и оперативного прогнозирования изменений сложных систем. Применение информационных технологий, использующих высокопроизводительные распределенные высоконагруженные вычислительные системы, позволяет оперативно и экономически эффективно решать многие прикладные задачи мониторинга, анализа и прогнозирования процессов, протекающих в сложных критических и, в том числе, природных системах. Одним из используемых программных и методологических реализаций процессов пространственного и геопространственного моделирования структуры, взаимосвязей и динамики в гидро- и океанологии являются геоинформационные системы (ГИС) [5]. Известно, что в поддержании энергетического баланса и, как следствие, динамического равновесия климатических изменений планеты значительную роль играет мировой океан и инерт-

ность его изменения. Особенно актуальна задача анализа и выявления климатических циклов для Азово-Черноморского региона России, решение которой позволит обеспечить поддержку принятия решений для оптимального расположения объектов инфраструктуры, прогнозирования траектории природных явлений, планирования проектов в сельском хозяйстве, мореходстве и туризме.

Одной из крупномасштабных критических задач для экономики Российской Федерации является информационное обеспечение процессов поиска и разведки месторождений углеводородов, мониторинга экологического состояния акваторий, в которых расположены объекты инфраструктуры нефтегазового комплекса, с целью обеспечения их безотказного и безопасного функционирования. Для эффективного функционирования таких систем необходимо решение научных и прикладных задач оперативного анализа данных мониторинга систем, установленных в местах месторождений нефти и газа, а также внедрение технологий анализа критических ситуаций, возникающих при эксплуатации каналов передачи энергоресурсов [6].

Важным аспектом проведения мониторинга акватории моря, в частности Азово-Черноморского региона, является разработка комплекса новых методов и технических средств, позволяющих производить сведение данных из различных источников, таких как спутниковое дистанционное зондирование [7–9], мониторинг акватории (выполняемый береговыми станциями) и измерения, производимые экспедиционными судами. Объем собираемых данных, на сегодняшний день составляет до 1 ТБ/сут [10].

В настоящее время большая часть проблем анализа данных связана с исследованиями стохастических динамических систем, в которых обнаружение существенных, но редких информационных ситуаций часто имеет решающее значение [11].

Следует отметить, что существующие и активно применяющиеся на практике методы не в полной мере удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям оперативности вычислений, репре-

зентативности визуализации, масштабируемости при возрастании объема статистических данных, определения достоверности исходных данных и состоятельности результатов при не полном покрытии изучаемого пространства данными мониторинга [1]. Использование модели распределенных или облачных вычислений с применением агентного подхода, используемого для обработки Больших Данных позволит совершить переход к качественно новым знаниям, оптимизировать процессы, происходящие в крупномасштабных научных исследованиях, и решить задачи анализа и репрезентативной визуализации срезов измерений в многомерных базах данных [6, 12, 13], производить анализ цикличности изменений эколого-геологических изменений, одновременно используя статистику более чем за 100 лет мониторинга окружающей среды, использовать современные средства сбора данных имеющих увеличенную разрешающую способность, в том числе распределенного сбора данных, называемого "Интернет вещей", без нарушения преемственности результатов [14].

С целью развития известных подходов к решению указанных задач предлагается новый научный подход, который в значительной степени позволяет преодолеть требования к реализации известных методов контроля состояния экосистем, в частности:

- больших объемов априорной информации для настройки параметров системы контроля;
- принятия решения о состоянии экосистемы в результате обработки большого объема текущих данных;
- трудно реализуемую стратегию обработки данных в реальном времени.

В силу отмеченных обстоятельств известные методы для решения задач мониторинга окружающей среды не могут являться совершенным операционным средством, т.к. не обеспечивают требуемого качества контроля состояния среды, в частности, с их помощью затруднительно отследить моменты изменения таких свойств как интенсивность, дисперсность, нестационарность состояния среды. Поэтому особое внимание уделяется разработке комплекса моделей

классификации информационных ситуаций, возникающих при выполнении задач мониторинга многомерных объектов [15]. Это позволит обеспечивать поддержку принятия решений по выбору одной из альтернативных стратегий при решении функциональных задач мониторинга.

Предлагаемая интеллектуальная технология, в отличие от известных, направлена на повышение обоснованности, достоверности и оперативности процессов поддержки принятия решений, гарантирует повышение реактивности, отличается подходом, базирующемся на использовании технологии Больших Данных и сервис-ориентированной облачной модели, что в отличие от других методов экспертного оценивания позволяет повысить достоверность и качество распознавания информационных ситуаций, использовать весь имеющийся статистический материал, уменьшить время обработки и затраты на поддержание высокого уровня доступности SLA вычислительной инфраструктуры.

Основными преимуществами предлагаемого подхода по оценке состояний мониторируемых объектов среды являются:

- чувствительность к изменениям состояния контролируемой среды;
- малая вычислительная трудоемкость;
- адаптивность к внешним воздействиям.

Требования к интеллектуальной системе поддержки принятия решений по обнаружению аномалий. Особенности экологического мониторинга Севастопольского региона (особый климат, рельеф местности, резкие градиенты температур, смешанная инфраструктура: гражданская, туристическая, торговая, военная) порождают новые научные проблемы, характеризующиеся потоками данных с переменной интенсивностью, неоднородными потоками информации в условиях малоинформативных, пропущенных, зашумленных данных и неполной информации.

При решении поставленной задачи возникают проблемы обработки Больших Данных: высокая вычислительная

сложность, обусловленная обработкой огромных объемов данных; высокая динамика мониторируемых объектов; дефицит априорной информации о мониторируемых объектах; нестационарность информационной ситуации состояния объектов и среды; обеспечение высокой скорости обработки запросов; предоставление метрик информационных ресурсов и сервисов в реальном времени.

Поэтому предлагается использовать интеллектуальную цифровую технологию, осуществляющую прогнозирование ключевых параметров критических экосистем посредством адаптивного имитационного моделирования, реализованного в виде распределенной вычислительной системы, динамической модели систем распределенных датчиков, осуществляющих мониторинг выбросов вредных веществ и оперативной обработки этих данных с использованием подходов "Интернет вещей", Больших Данных и сервис-ориентированных систем. Основной целью предлагаемого подхода является повышение обоснованности, достоверности и оперативности процессов поддержки принятия решений с учетом требований к обеспечению своевременной адаптации под меняющиеся потребности населения и бизнеса.

Управление системой мониторинга (СМ) может быть описано нестационарной оптимизационной моделью

$$M [Y(t_k, p_k, s_k, r_k, u_k, n_k, z_k, I_k, \xi)] \rightarrow \text{extr},$$

в которой приняты следующие обозначения:

M – символ математического ожидания;

Y – функционал, описывающий качество функционирования СМ;

t_k – терминальное операционное время;

p_k – структура СМ;

s_k – параметрическое состояние контролируемой среды;

r_k – объем доступных ресурсов СМ;

u_k – стратегия распределения ресурсов СМ;

n_k – ресурсы, выделяемые на СМ;

z_k – правило перераспределения ресурсов на основе данных СМ;

ξ – помехи, неконтролируемые воздействия и т.п.;

I_k – апостериорная информация, поступающей от СМ.

Решение задачи необходимо найти в области ее допустимых решений:

$$t_k \in [0, \tau], p_k \in P, s_k \in S,$$

$$u_k \in U, n_k \in N, z_k \in Z.$$

Для обеспечения качества функционирования СМ необходимо решить оптимизационную задачу

$$H[I(t_k, st_k, f_k, v_k, g_k, d_k, q_k, b_k, w_k, a_k, e_k)] \rightarrow \text{extr},$$

где H – энтропия состояния контролируемой среды.

Качество мониторинга определяется структурными решениями st_k и рядом следующих параметров:

f_k – частота мониторинга;

v_k – полнота мониторинга;

g_k – коэффициент потребляемых ресурсов;

d_k – правила принятия решения по включению мониторинга;

q_k – коэффициент относительности используемого процессорного времени;

b_k – индекс типа контролируемого события;

w_k – объем резервного ресурса;

a_k – индекс стратегии мониторинга;

e_k – индекс вида мониторинга.

Решение задачи необходимо найти в области ее допустимых решений:

$$st_k \in ST, f_k \in F, v_k \in V,$$

$$g_k \in G, d_k \in D, q_k \in Q,$$

$$b_k \in B, w_k \in W, a_k \in A, e_k \in E.$$

Аналитические решения для указанных моделей в большинстве случаев неизвестны, а нахождение решений оптимизационных задач методом полного перебора в данных условиях практически невозможно. С целью получения решений для практически значимых случаев предложено использование интеллектуальной технологии, включающей основные компоненты программной системы анализа и поддержки принятия решений (рис. 1).

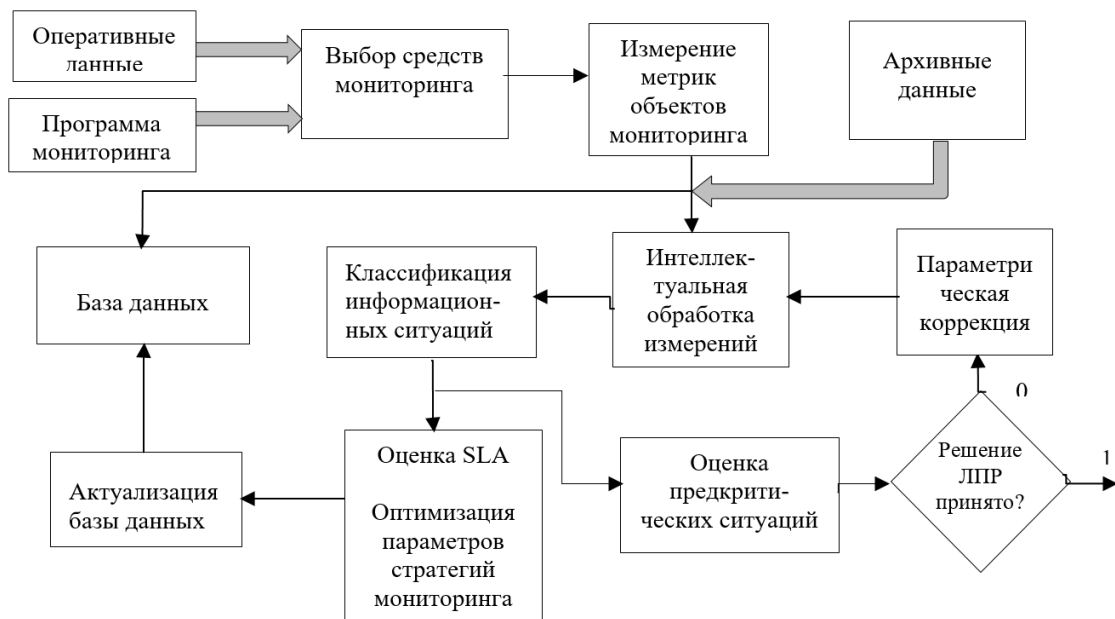


Рис. 1. Ключевые компоненты программной системы анализа и поддержки принятия решений

Учитывая вышесказанное, разрабатываемая интеллектуальная технология и проектируемая на ее основе система поддержки принятия решений по обнаружению аномалий экосистем акватории г. Севастополя базируется на решении следующих первоочередных задач:

1. Разработка методов принятия решений в условиях неопределенности, в том числе, методов обнаружения аномальных значений данных мониторинга, которые позволят устранить недостатки и ограничения свойственные классическим подходам и позволят решить новые научные задачи, характеризующиеся потоками данных с переменной интенсивностью, неоднородными потоками информации в условиях малоинформативных, пропущенных, зашумленных данных и неполной информации.

2. Для обеспечения процесса принятия решений о наличии аномалий критических экосистем акватории использовать подход, который состоит в следующем: известно, что аналитическая разрешимость рассматриваемой проблемы в настоящее время отсутствует, либо известна для крайне узкого класса задач при очень жестких предположениях. Поэтому большое значение имеют экспериментальные методы. С этой целью предлагается подход, основанный на математическом и распределенном имитационном моделировании, что позволяет в отличие от других подходов экспертного оценивания повысить достоверность, качество распознавания, использовать весь имеющийся статистический материал.

3. Проведение оценки вероятности принятия гипотез о наличии аномальных значений с учетом ошибок первого и второго рода на основе методов непараметрической математической статистики. Повышение обоснованности, уровня достоверности, качества оценивания и оперативности, уменьшения вероятности указанных ошибок при проведении про-

цессов поддержки принятия решений о наличии аномалий в данных наблюдений критических экосистем.

4. Разработка новой концепции построения адаптивных систем интеллектуальной поддержки принятия решений по обнаружению аномалий в параметрах водной среды, предназначенных для оперативного выявления предаварийных состояний объекта мониторинга с целью своевременного принятия ответных мер по предотвращению критических последствий, а также адаптированных и учитывающих особенности экологического мониторинга Севастопольского региона: особый климат, рельеф местности, резкие градиенты температур.

5. Использование подхода "Больших Данных" позволит осуществлять регулярный сбор и анализ, осуществление бизнес аналитики по неоднородным потокам данных мониторинга из различных источников, содержащих информацию о предельно допустимых выбросах вредных веществ в атмосфере, почве, воде. На основе полученных данных будет возможно осуществлять централизованное управление и кластеризацию данных с последующим выявлением аномальных значений по различным параметрам и принятием экспертных решений по ликвидации критических состояний.

6. Использование подхода "Интернет вещей" позволит обеспечить развитие специализированного промышленного производства систем распределенных миниатюрных датчиков, осуществляющих мониторинг выбросов вредных веществ и оперативной обработки этих данных с использованием сервис-ориентированного облачного подхода, а также позволит тиражировать полученные результаты для других сред, регионов и задач мониторинга с минимальными перенастройками структурного и параметрического планов.

Заключение. Разработка интеллектуальной технологии обнаружения аномалий экосистем акватории г. Севастополя, базирующейся на применении новых подходов и методов, приведет к повышению обоснованности, достоверности и оперативности процессов поддержки принятия решений по оцениванию вероятности принятия гипотез о наличии аномальных значений с учетом ошибок первого и второго рода.

Адаптивные методы принятия решений в условиях неопределенности позволят устранить недостатки и ограничения свойственные классическим подходам в случае зашумленных данных и неполной информации. На основе технологии Больших Данных и специального моделирующего стенда повышается качество оценивания принимаемых решений.

Практическая значимость результатов работы приведёт к снижению уровня негативного воздействия природных и антропогенных факторов на состояние экосистем акватории г. Севастополя, к уменьшению отрицательного техногенного воздействия на окружающую среду, а также окажет положительное влияние на здоровье и условия жизни населения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научных проектов № 18-47-920005\18, № 18-47-920007\18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скатков А.В., Брюховецкий А.А., Моисеев Д.В. Методология организации мониторинговых процессов при решении крупномасштабных задач в облачных вычислительных средах // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании "ИНФОТЕХ – 2017": сборник статей Всерос. науч.-техн. конф. Севастопольский государственный универси-

тет, Институт «Информационные технологии и управление в технических системах». Севастополь: СевГУ, 2017. С. 78–80.

2. Брюховецкий А.А., Скатков А.В., Шишкин Ю.Е. Моделирование процессов обнаружения аномалий в сложноструктурированных данных мониторинга // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 9 (29). С. 45–49.

3. Скатков А.В., Шишкин Ю.Е. Разработка модели оптимизации мониторинга при частичной неопределенности в виде системы массового обслуживания // Развитие методологии современной экономической науки и менеджмента: материалы I Междисциплинарной Всерос. науч.-практ. конф. (г. Севастополь 4-5 мая 2017 г.). Севастополь: СевГУ. 2017. С. 611–618. ISBN 978-5-9907603-9-4.

4. Скатков А.В., Шишкин Ю.Е. Кластеризация данных в задачах обнаружения аномалий на основе ортогональных фильтров // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 11 (31). С. 36–43.

5. Новикова А.М., Аверьянова Е.А. Применение ГИС-технологий для решения комплексных задач пространственного моделирования в океанологии и экологии // Экологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами: материалы науч.-практ. молод. конф. Севастополь, 2016. С. 200–203.

6. Бондур В.Г. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса. М.: Научный мир, 2012. 558 с.

7. Ратнер Ю.Б., Толстошеев А.П., Холод А.Л. Создание базы данных мониторинга Черного моря с использованием дрейфующих поверхностных буев // Морской гидрофизический журнал. 2009. № 3. С. 50–69.

8. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ

РАН, 2011. 480 с.

9. *Коротаев Г.К., Демьяшев С.Г., Лу М.Е.* Спутниковый мониторинг морских акваторий. Киев: Академперіодика, 2014. С. 91–100.

10. *Балашов И.В., Халикова О.А.* Организация автоматического получения наборов информационных продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 9–20.

11. *Ширяев А.Н.* Вероятностно-статистические методы в теории принятия решений. 2-е изд., новое. М.: МЦНМО, 2014. 144 с.

12. *Scheduling in distributed systems: A cloud computing perspective / L.F. Bittencourt, A. Goldman, R.M. Madeira [et al.]* Computer Science Review. 2018. Vol. 30. P. 31–54.

DOI: 10.1016/j.cosrev.2018.08.002

13. *Monsalve S.A., Carballeira F.G., Calderon A.* A heterogeneous mobile cloud computing model for hybrid clouds // Future Generation Computer Systems. 2018. Vol. 87. P. 651–666.

DOI: 10.1016/j.future.2018.04.005

14. *Матишов Г.Г., Бердников С.В., Жичкин А.П.* [и др.]. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Чёрное, Азовское и Каспийское моря. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.

15. *Li X., Ma H., Wang X.* Feature proposal model on multidimensional data clustering and its application // Pattern Recognition Letters. 2018. Vol. 112. P. 41–48. DOI: 10.1016/j.patrec.2018.05.025

INTELLIGENT TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF ANOMALIE DETECTION IN THE ECOSYSTEM OF SEVASTOPOL WATER AREA

A.V. Skatkov¹, A.A. Bryukhovetskiy¹, Y.E. Shishkin^{1,2}

¹ Federal State Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University», Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

² Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

The main features related to the development of intelligent technology for the detection of anomalies in the ecosystems of the Sevastopol water area are considered. An intelligent technology approach is proposed, the feature of which is the continuous monitoring provision of key environmental indicators presented in the form of heterogeneous information flows. Monitoring of such information flows as hydrometeorological information, data on pollution levels and composition of air, soil, environmental monitoring, monitoring of maximum permissible emissions of harmful substances in order to detect changes in the state of the flow of monitoring data. A non-stationary optimization control model and a model for ensuring the quality of the monitoring system are proposed. The structure of the projected software system for decision support is presented, the basic requirements for the implementation of priority tasks are formulated.

Keywords: monitoring systems, anomalies detection, intelligent technology, big data, modeling of complex system, data mining.