

# **БОСТАНБЕКОВ КАЙРАТ АРАТОВИЧ**

## **РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **АННОТАЦИЯ**

диссертации Бостанбекова К.А. на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070400-Вычислительная техника и программное обеспечение

#### **Актуальность исследования**

С увеличением численности населения Земли и, как следствие, увеличением антропогенных изменений, значительно возросло взаимодействие человека с природой. Пренебрегая законами природы и нарушая экологическое равновесие для удовлетворения своих потребностей, население Земли оказалось в большей зависимости от окружающей среды, чем ранее. Для принятия правильных и взвешенных решений в сфере взаимодействия общества с природой и дальнейшего развития человечества стало необходимым изучение Земли, как целостной системы, формирование информационного пакета знаний о природной среде, в том числе о процессах взаимодействия, анализе и оценке происходящих явлений в окружающем мире.

Важную роль для Казахстана играет Каспийское море. На основе многочисленных исследований можно, безусловно, констатировать, что Каспий является уникальным водоемом. Особенно ярко это проявляется на Северном Каспии, где мелководье, притоки крупных рек Волги и Урала, морфология берегов, ледовый режим, колебания уровня и другие особенности сформировали уникальную экосистему. Эти же факторы определяют особую чувствительность данной акватории моря к внешним воздействиям. Высокая изменчивость природных условий (уровня моря, батиметрии, солености и других системообразующих факторов) сформировали экосистему в своеобразном состоянии динамического равновесия (биоценоза), нарушение которого вследствие, например, человеческой деятельности может привести к необратимым последствиям.

В настоящее время экологическое положение Каспия вызывает серьезную озабоченность, особенно в шельфовой, мелководной зоне моря. В первую очередь это касается Северного Каспия, где можно выделить четыре основных источника загрязняющих веществ:

1. Реки, впадающие в море и несущие загрязнители с огромных территорий, занятых промышленным и сельскохозяйственным производством. Конечно, в первую очередь речь идет о реках Волга и Урал, водосборные бассейны которых составляют 1380 тыс. и 273 тыс. кв. км соответственно.

2. Города и промышленные объекты, расположенные в прибрежной зоне. На берегах Северного Каспия, в российской и казахстанской части имеются довольно разветвленные городские и промышленные инфраструктуры.

3. Объекты добычи и транспортировки нефти на море. На Северном Каспии идет интенсивное освоение месторождений и прокладка трубопроводов, что неизбежно сопровождается сбросом нефтесодержащих отходов и других видов загрязнителей.

4. Затопленные и подтопляемые, плохо законсервированные объекты нефтегазовой добычи. Эти объекты возникли вследствие многолетних колебаний уровня Каспийского моря.

Интенсивный рост активности нефтегазовых операций на Казахстанском секторе Каспийского моря за последние годы повышает актуальность экологической безопасности Каспия. Мелководье Северного Каспия создает благоприятные условия обустройства и эксплуатации месторождений нефти и газа, запасы которых составляют очень внушительную величину (например, только для месторождения Кашаган запасы нефти оцениваются в 4,5 миллиарда тонн). Наиболее опасным для прибрежных зон техногенным воздействием является аварийный разлив нефти, особенно высок риск такого происшествия в районах, где ведется промысел нефти или ее транспортировка. Многократные разливы нефтепродуктов могут привести к ухудшению экологической ситуации не только в месте разлива, но и близлежащих районах. При этом тип берега и местные климатические условия определяют поведение нефтяного пятна и степень его воздействия на окружающую территорию. Уникальность и замкнутость акватории Каспийского моря может привести в случае крупной нефтяной аварии к масштабной экологической катастрофе целого региона, при этом ущерб может превысить ущерб от аналогичной аварии в Мексиканском заливе. Поэтому карты рисков зон нефтяного загрязнения, представленные в информационной системе, имеющей возможность оперативно определять приоритеты при ликвидации разливов, моделировать и прогнозировать процесс, связанный с разливами нефти, позволяют оценить предварительный ущерб, связанный с выбросом нефти на побережье.

Кроме того, вопросы, связанные с динамикой изменения концентраций различных атмосферных примесей и аэрозолей также имеют большое прикладное значение для региона. Атмосфера крупного промышленного центра загрязняется выхлопами автомобильного транспорта и выбросами промышленных предприятий, находящихся в черте города. Чаще всего загрязнителями, концентрации которых следует контролировать, являются пыль, сажа, оксид углерода CO, диоксид серы SO<sub>2</sub>, озон, диоксид азота NO<sub>2</sub>, оксид азота NO, сероводород H<sub>2</sub>S, фенол CH, фтористый водород HF, аммиак NH<sub>3</sub>, формальдегид CH<sub>2</sub>O и др. Вопросы, связанные с динамикой изменения концентраций этих и других атмосферных аэрозолей, а также газов, имеют большое значение. Также имеется ряд открытых вопросов, связанных с взаимодействием различных атмосферных аэрозолей между собою.

Широкий класс связанных с экологией задач требует создания информационных систем, предназначенных для хранения, обработки и представления пространственно-распределённых временных рядов различных исследований. Очевидно, что такие информационные системы обладают схожей структурой – они включают в себя модель данных и средства работы с ней, подсистему импорта и редактирования данных, а также подсистемы, отвечающие за представление картографических данных и их обработку. Разработка каждой такой системы в виде независимого проекта имеет очевидные недостатки:

- Написание большого объема близкого по предназначению кода.
- Сложность создания унифицированных средств обработки, хранимых каждой подобной системой данных.
- Визуализация результатов из различных форматов данных.

Применение геоинформационных систем для экологических исследований, основанных на научных методах решений позволяет рационально оценивать проблемы окружающей среды. Современные информационные технологии, в частности географические информационные системы (ГИС), намного облегчают работу с огромными массивами данных, баз знаний и информации, накопленных людьми за много лет. Одно из определений ГИС – это информационная система сбора, хранения, обработки и визуализации пространственно-временных данных, которая интегрирует разнородную информацию, поступающую из различных источников на основе пространственного положения. С помощью ГИС можно сопоставлять различные факторы исследуемой среды и проводить комплексную геоэкологическую оценку территории. В современном мире информационных технологий очень широк выбор различных инструментов в виде геоинформационных систем с настройками интерфейса пользователя и встроенными моделями для решения конкретной задачи.

Необходимость проведения данной работы обусловлена тем, что необходимо анализировать и обосновывать особенности и преимущества использования технологий ГИС в экологических исследованиях и включать результаты этих исследований в единое информационное пространство для формирования как можно более полной оценки состояния территории. Создание единой унифицированной платформы, в рамках которой можно объединить схожие по решению задачи, которые позволяют использовать одни и те же способы обработки, анализа и визуализации данных. Этот подход позволит максимизировать переиспользование кода и, соответственно, снизит трудовые и временные затраты на создание и сопровождение подобных систем.

Таким образом, задача создания новой, расширяемой и гибкой системы, предназначенной для специалистов, занимающихся оценкой экологических рисков окружающей среды, является актуальной.

**Цель и задачи исследования.** Целью данной работы является разработка геоинформационной платформы, которая позволяет проводить оценку состояния окружающей среды при антропогенном воздействии на природу, с помощью

методик, основанных на теории рисков, статистических методах обработки данных и моделях визуализации информации.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- обзор и анализ задач рискованного картирования экологических аварий;
- формирование пакета метеорологических данных для дальнейшего применения в модели риска;
- формирование пакета гидродинамики Каспийского моря с помощью программного обеспечения MIKE 21 HD;
- автоматизация программного обеспечения MIKE-21 SA для множественного расчета нефтяных разливов на водном пространстве;
- формирование пакета карт обитания и уязвимости различных биологических сообществ Северного Каспия и приведение к единой картографической основе;
- разработка алгоритмов численной реализации рискованной модели загрязнения водного ресурса от нефтяных разливов;
- учет большого времени расчета рискованной карты и распараллеливание алгоритмов для расчета трудоемких задач с использованием суперкомпьютеров;
- разработка сервис ориентированной архитектуры для реализации моделей экологического картирования;
- разработка платформы обработки и визуализации данных моделей экологического картирования;
- проведение серии экспериментов и апробация результатов разработанной системы.

**Объект исследования.** Объектом исследования являются территориальные комплексы, подверженные экологическому риску негативного воздействия техногенной аварии, с применением современной технологии математического моделирования и геоинформатики.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является веб-ориентированная геоинформационная система, как средство решения задач оценки и анализа экологических рисков при авариях в нефтегазовой отрасли.

**Методологическая основа исследования.** В работе были использованы теоретические разработки отечественных и зарубежных авторов по оценке рисков, геоинформационным системам, геоинформационному картографированию, моделированию, геоэкологии. Использовались методы вероятностной оценки рисков, системного анализа, хранения и обработки информации, статистические методы обработки данных и модели визуализации информации.

**Научную новизну исследования** составляют:

- разработка алгоритма численной реализации стохастической модели вероятностной оценки риска загрязнения окружающей среды;

- разработка методов обработки и визуализации метеорологических данных и информации по биоразнообразию Каспийского моря;
- разработка алгоритмов распаралливания репрезентативной выборки и обработки данных, используемых в риск модели риска, с целью ускорения времени расчета;
- универсальность разработанной архитектуры геоинформационной системы, которая может быть приспособлена для других экологических задач путем добавления в систему новые расчетные модули без вмешательства в ранее разработанный код.
- интеграция гетерогенных систем для расчета моделей оценки риска, основанная на сервис ориентированной архитектуре;
- разработанная платформа агрегации и обработки данных моделей экологического картирования в виде веб приложения с элементами ГИС, реализованная в виде независимых веб-сервисов;
- удобный пользовательский интерфейс для профессиональных пользователей, позволяющий запускать расчеты и анализировать результаты, отображенные на карте.

**Основные положения, выносимые на защиту следующие:**

- Алгоритм численной реализации вероятностной оценки риска загрязнения моря при аварийном разливе нефти.
- Алгоритм численной реализации вероятностной оценки риска поражения биоты при аварийном разливе нефти.
- Параллельный алгоритм построения рисковых карт для оптимизации времени расчета и анализа результатов.
- Разработанная сервис ориентированная архитектура геоинформационной системы для взаимодействия расчетных модулей и управления задачами.
- Веб-ориентированная геоинформационная система для запуска расчетов и отображения результатов на карте, в виде единого интерфейса с ориентацией на профессионального пользователя.
- Серия численных экспериментов, подтверждающие адекватность разработанной модели.

**Связь темы с научно-исследовательскими программами**

Диссертационная работа выполнялась в Национальной научной лаборатории коллективного пользования информационных и космических технологий НАО КазНИТУ имени К.И. Сатпаева в рамках научного проекта «Разработка и реализация на суперкомпьютере методики рискового картирования негативного воздействия на биоту аварии на объектах нефтегазовой индустрии», государственная регистрация № 0112PK02004 в период 2012-2014 гг. и в ТОО “EcoRisk” по проекту коммерциализации технологии для групп старших научных сотрудников «Разработка технологии

рискового картирования поражения морской биоты при аварийном разливе нефти на шельфе Каспийского моря» в период 2014-2015 гг.

### **Апробация результатов исследования**

Основные результаты диссертационного исследования были представлены в следующих научно-практических конференциях Казахстана и за рубежом: «The Second International Conference on Informatics Engineering & Information Science (ICIEIS2013)» – Kuala Lumpur, Malaysia, 2013, «Proceedings of 8th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2014)» – Astana, 2014, вошедшая в базу данных Web of Science, «Материалы международной научно-практической конференции «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности» – Астрахань, Россия, 2015, «18th European Geosciences Union General Assembly (EGU2016)» – Vienna, Austria, 2016, «Материалы Республиканской научно-методической конференции «Актуальные вопросы механики и математики», посвященной 20-летию ЕНУ им.Л.Н. Гумилева» – Астана, 2016, «19th European Geosciences Union General Assembly (EGU2017) – Vienna, Austria. «Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering (ELEKTROENERGETIKA 2017) – Stara Lesna, Slovak Republic, включенная в базу данных Scopus. Также была опубликована монография «Моделирование экологических рисков при нефтяном загрязнении акватории Северо-Восточного Каспия» следующим коллективом авторов: Закарин Э.А., Балакай Л.А., Бостанбеков К.А., Дедова Т.В., Ким Д.К., Кобегенова С.С., Миркаримова Б.М., Нурсейтов Д.Б. Исследовательской группой, где соискатель является соавтором, был получен патент на изобретение «Способ прогнозирования загрязнения окружающей среды» №31877 от 29.05.2015 выданная Министерством Юстиции Республики Казахстан.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 23 печатных работ, семь из которых – в изданиях из перечня рекомендованных ККСОН МОН РК, четыре – в международных изданиях, индексируемых в базе данных РИНЦ, Scopus и Web of Science, одна монография.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационное исследование состоит из введения, пяти разделов, включающих в себя 31 подразделов, заключения, списка использованных источников из 108 наименований и 2 приложений.

### **Содержание работы**

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы диссертационного исследования, определяются цели и задачи, осуществляется выбор предмета и объекта исследования, формулируются положения, выносимые на защиту.

В **первом разделе** диссертации приведен обзор и анализ задач рискового картирования экологических аварий и связанных с ними литературный обзор. Далее раскрыта проблематика особенностей Каспийского моря, которые необходимо учесть при разработке информационной модели Каспия и, особенно, при создании математических моделей, включая метеорологию, гидродинамику, загрязнение и другие процессы. Были приведены примеры крупных экологических катастроф в истории человечества, что показывает серьезность и масштабы влияния аварийных разливов нефти на природу. Оценено экологическое состояние Каспийского моря и выявлены основные механизмы вредного воздействия нефтяных разливов на морскую биоту.

Поскольку основным направлением работы является оценка рисков от нефтяных разливов, то **второй раздел** диссертации посвящена моделям, методам и ГИС технологиям для оценки воздействия загрязнения на природную среду при аварийном разливе нефти. Была описана математическая модель стохастической оценки экологического риска загрязнения окружающей среды и риска поражения животного и растительного мира (биоты). Отметим, что в работе рассматривались теоретические основы модели, направленные на решение практических задач, и многие ограничения и предположения обусловлены возможностью реализации результатов теоретического анализа на практике.

Так как в основе стохастической модели оценки рисков лежит прогноз распространения нефтяного разлива, были приведены существующие модели расчета морских течений и расчета распространения нефти. При расчете морских течений основными факторами являются рельеф морского дна, скорость и направление ветра.

При попадании нефти в морскую среду происходят важнейшие процессы трансформации нефти, такие как растекание, испарение, растворение, эмульсификация, осаждение, биодegradация, фотоокисление и вертикальная дисперсия. Поэтому для расчета распространения нефти требуются, помимо гидродинамики моря, температура воздуха и воды, осадки и испарения, солнечная радиация, а также химические и физические параметры нефти.

Для успешной реализации поставленной цели особенно важным является выбрать правильные инструменты и технологии. Поэтому был проведен анализ существующих геоинформационных систем и выявлена наиболее подходящая для реализации разрабатываемой платформы среда.

Описанию комплекса работ по вычислительным процессам системы посвящена **третьи раздел** диссертационной работы. В данном разделе описан весь вычислительный процесс от формирования информационного обеспечения до расчета и оценки рисков. Самые значительные информационные потоки поступают в систему при формировании сервисов по метеорологии и чувствительности биоты.

Численное решение прямых задач гидродинамики и нефтяного загрязнения Каспия выполняется с помощью математических моделей HD (Hydrodynamic) и OS (Oil Spill) программного комплекса MIKE 21, разработанного Датским

гидравлическим институтом (ДНИ). Этот комплекс широко используется в мировой практике (в том числе в АО «КазГидроМет») для анализа морских течений в шельфовых районах различных морей. Комплекс MIKE 21 был адаптирован к условиям Северного Каспия с учетом мелководья, стгонно-нагонных явлений, речных притоков и других факторов.

Основной информационной единицей является карта, как дискретная функция на множестве узлов координатной сетки, наложенной на рассматриваемую акваторию моря. Это дало возможность применить методы картографического моделирования, используя инструменты геоинформатики, на всех этапах численной реализации риск-модели. В том числе, при сборе и картировании данных по животному и растительному миру Северного Каспия.

В целом, численная риск-модель представляет собой большой вычислительный комплекс, в котором на каждом этапе обрабатываются большие потоки данных и моделируются сложные физико-химические процессы. На рисунке 1 представлена общая структурная схема этого комплекса.

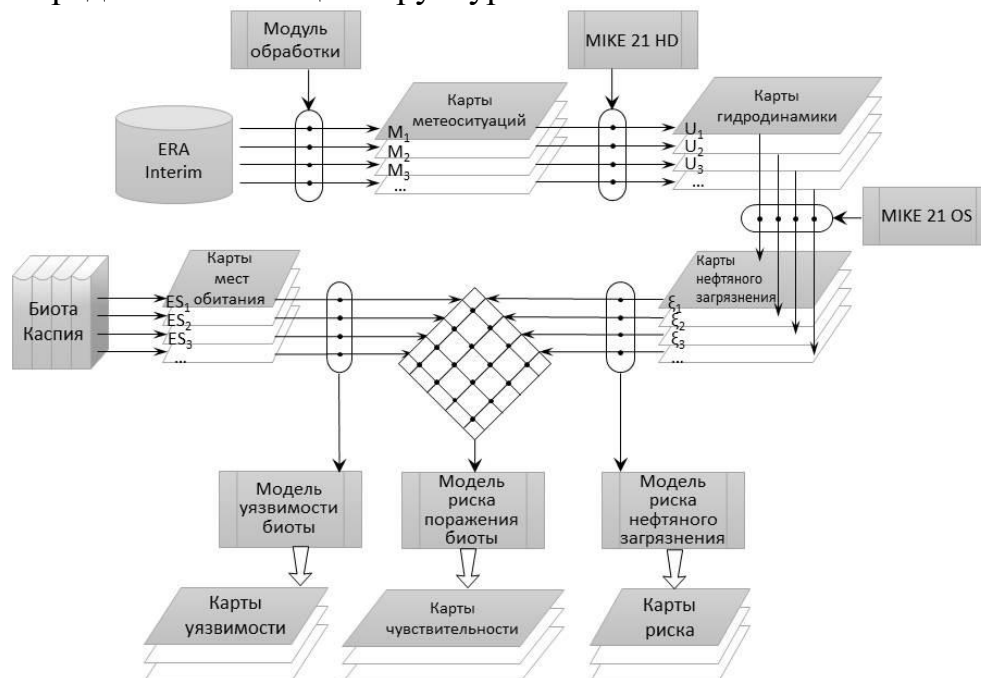


Рисунок 1 – Алгоритм численной реализации стохастической риск-модели

Как видно из схемы, вычислительную процедуру можно рассматривать как два параллельных процесса, которые стыкуются при расчете риска поражения биоты вследствие нефтяного загрязнения моря. Наиболее сложной в плане численной реализации является расчетная цепочка «метео»-«гидродинамика»-«нефть».

На этапе «метео» формируется пакет метеоситуаций с использованием базы данных ERA Interim, где собраны результаты реанализа метеорологических наблюдений и модельных расчетов за 40-летний период. Благодаря такому большому объему данных удалось сформировать репрезентативный пакет метеоситуаций.

Поля ветра, давления и температуры из указанного выше метеопакета поступали далее в расчетный блок гидродинамики Каспия. С помощью модели MIKE 21 HD для каждой метеоситуации рассчитывались скорости и направления морских течений, и формировался гидродинамический пакет в виде набора карт. Расчетная процедура обеспечивалась большим объемом фактических данных по батиметрии моря, береговой зоне, притокам рек Волга и Урал.

Следующий важный этап связан с расчетом нефтяного загрязнения моря вследствие возможной аварии. Расчеты выполнялись с помощью модели MIKE 21 OS (Oil Spill), в которой учитываются физико-химические свойства нефти и такие важные процессы, как перенос, испарение, эмульсификация, осаждение нефти и ее растекание по поверхности моря. В основу расчета положено предположение, что все параметры аварии известны, неопределенным является только время аварии. Пользователь задает период возможной аварии, зная время, в течение которого будет выполняться опасная нефтяная операция. Набор ситуаций нефтяного загрязнения обрабатывается в реализованной системе и выдается пользователю в виде карты риска нефтяного загрязнения заданной акватории моря. Для решения более сложной задачи – оценки риска поражения биоты при нефтяном загрязнении, в соответствующий модуль передается весь пакет, где расчеты выполняются отдельно для каждой ситуации.

Параллельный вычислительный процесс связан с анализом растительного и животного мира Каспия. Исходные данные были получены путем обработки большого объема литературных источников, причем обработка выполнялась целенаправленно, следуя требованиям теоретической модели картирования биоразнообразия и уязвимости. Чтобы построить карты зон уязвимости различных биологических сообществ был собран и приведен к единой картографической основе огромный и уникальный объем информации о биоразнообразии и зонах обитания многих видов биоты Северного Каспия.

В результате проделанной работы были определены основные параметры в моделях расчетов гидродинамики и разлива нефти. Из базы данных ERA Interim были закачаны 8 метеопараметров на каждый день с 1979 по 2014 годы и, с помощью специально разработанной программы, преобразованы в необходимый для расчетов формат (всего 52 596 файлов). На MIKE 21 HD, которая была автоматизирована для многократных запусков, была сформирована гидродинамика Северного Каспия (13 149 файлов), на все дни с 1979 по 2014 годы, необходимые для последующих расчетов.

Итогом всего вычислительного процесса стал расчет риска поражения биоты в результате аварийного разлива нефти. Здесь совместно обрабатывались карты нефтяного загрязнения и карты зон обитания различных сообществ с учетом их уязвимости. На схеме это проиллюстрировано множеством точек пересечения нефтяных карт и карт зон обитания. В результате были разработаны расчетные модули реализующие данные алгоритмы.

**В четвертом разделе** подробно излагается реализация системы в виде веб-ориентированной геоинформационной системы, названной RANDOM (Risk Assessment of Nature Detriment due to Oil spill Migration). Здесь в первом

подразделе излагается проектирование архитектуры и внутренней структуры системы, где обозначены основные компоненты. Далее описываются веб-сервисы для управления расчетными модулями и пользовательский интерфейс по каждому сервису системы.

В данном разделе было описано проектирование разрабатываемой системы с помощью UML диаграмм и приведена архитектура системы, интегрированная с высокопроизводительным кластером. Методология проектирования и интеграции системы основана на сервис-ориентированной архитектуре. Выбор сервис-ориентированной архитектуры (SOA) связан с тем, что данная технология в построении корпоративных автоматизированных и информационных систем специально предназначена для интеграции разно-платформенных приложений, обеспечивающих бизнес-процессы, что и требовалось, в связи с включением в систему множества независимого программного обеспечения. Была разработана и построена 4-уровневая архитектура SOA на основе стандарта W3C Web Service. Процесс многомерного моделирования разливов нефти был автоматизирован на высокопроизводительном кластере.

Рисунок 2 представляет сервис-ориентированную архитектуру системы. На данном рисунке представлены 4 уровня системы: клиентский, интерфейсный, уровень приложений и уровень хранения данных.

Клиентский уровень обеспечивает доступ к системе. Обращение к системе может быть произведено как с персонального компьютера, так и с мобильного устройства.

Интерфейсный уровень состоит из веб-сервера, на котором развернута платформа Microsoft SharePoint Server 2013 для Демо версии портала и рабочий портал RANDOM на Microsoft ASP.NET, опубликованный на веб-сервере IIS. Выбор платформы Microsoft ASP.NET обусловлен тем, что она предоставляет инструменты для автоматизации бизнес процессов, а также поддерживает принцип сервис-ориентированной архитектуры.

Уровень приложений составляет набор веб-сервисов, которые представляют собой управляющие службы над программным обеспечением, установленным на вычислительном кластере и выполняющих расчеты разливов и анализ риска. Этот уровень представляет собой функциональное ядро системы. На данном уровне будет задействован вычислительный кластер, который обеспечит быструю параллельную обработку данных. На вычислительном кластере устанавливаются следующие программные продукты: Mike 21 SA, Mike 21 HD, Risk Biota, Meteo. Данный уровень является закрытым для пользователя, а взаимодействие с системой и управление программными пакетами осуществляется через веб-сервисы Preprocessing, ProxyService, HPCRiskModel, MapConverter и модуль Task Controller.

Уровень хранения данных составляют базы данных для хранения информации.

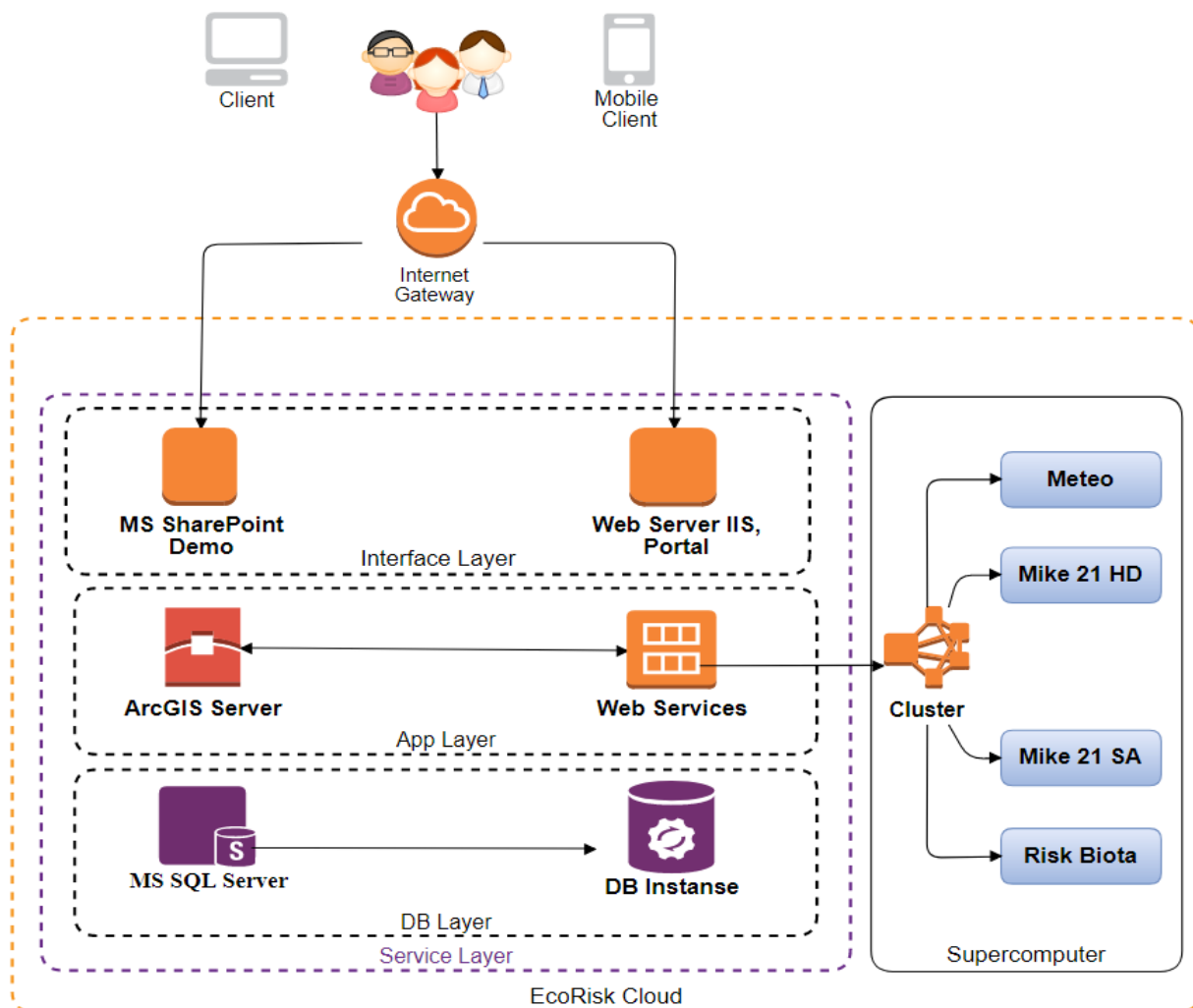


Рисунок 2 – Общая схема архитектуры системы RANDOM

Для взаимодействия и управления расчетными модулями были разработаны веб-сервисы. За счет них были автоматизированы процессы, обеспечивающие оперативную обработку данных, хранение данных, возможность произведения многократных расчетов без участия специалиста.

Разработан портал с удобным пользовательским интерфейсом и последовательностью обработки заявок пользователей.

Были полностью реализованы и интегрированы в единую систему все блоки платформы, включая портал, интерфейсы, базы геоданных, расчетные модули и др. Пользовательский интерфейс был разработан на веб-фреймворке ASP.NET компании Microsoft. А визуализация результатов на карте реализована с помощью ArcGIS for Server компании ESRI.

В разработанной системе реализованы следующие услуги:

- 1) Постобработка метеоданных (сервис Meteo);
- 2) Прогноз морских течений (сервис Hydro);
- 3) Прогноз распространения нефтяного разлива (сервис Oil Migration);
- 4) Рисковое картирование нефтяного загрязнения моря (сервис Risk Oil);
- 5) Рисковое картирование поражение морской биоты (сервис Risk Biota).

В пятом разделе описывается атмосферная модель переноса химических веществ на примере оценки загрязнения при аварийном возгорании нефтехранилища, как пример экологической задачи, которая может быть интегрирована с разработанной платформой RANDOM.

Исследование сценарии аварийного выброса загрязняющих веществ при возгорании нефтехранилища осуществлялось путем анализа атмосферного переноса, дисперсии и осаждения загрязнений с использованием онлайн интегрированной модели метеорологии, химии и аэрозолей Enviro-HIRLAM, адаптированная и настроенная для территории Казахстана.

В результате получены пространственно-временные поля концентрации диоксида серы ( $SO_2$ ), с временным шагом 1 час на расчетный период с 17 по 26 января 2010 года. Данные были визуализированы, что дало возможность построить карты распространения и уровней загрязнения на исследуемой территории. В случае аварийного выброса с Атырауского НПЗ облако дыма достигло Азовского моря на западе от источника, и до гор Кавказа на юге, также загрязнение настигло такие города как Ростов-на-Дону, Волгоград и Киев. Помимо аварийного выброса проанализированы концентрационные поля диоксида серы и провели оценку уровня загрязняющего вещества для городов Казахстана с населением свыше 50 тыс. Были идентифицированы наиболее и наименее загрязненные города из оценки временных рядов смоделированной концентрации диоксида серы.

Данная модель рассчитывает множество метеорологических и химических параметров, что позволяет проводить анализ других метеопараметров и загрязняющих веществ, которые не были отображены в этой работе. Модель впервые была использована для территории Казахстана, и в будущем планируется продолжить использование этой модели для территории нашей страны в других научно-исследовательских работах.

### **Заключение**

Цель данной работы заключалась в том, чтобы проанализировать и обосновать особенности использования технологий ГИС в экологических исследованиях и создать единую геоинформационную платформу с дружественным интерфейсом для проведения расчетов, в частности для оценки состояния территории от воздействия нефтяного разлива, основанные на теории рисков, статистических методах обработки данных и применения моделей визуализации информации.

– Был проведен обзор работ по оценке экологических рисков и описаны особенности Каспийского моря, которые нужно учитывать при разработке информационной модели Каспия.

– Была выполнена адаптация гидродинамической модели Датского гидравлического института MIKE 21 HD к условиям Северного Каспия. Приземные поля ветра, давления и температуры для каждой метеоситуации были использованы для расчета соответствующих полей морских течений.

Многократный расчет с перебором метеоситуаций дал возможность сформировать множество гидродинамических ситуаций.

– Рассчитано множество ситуаций нефтяного загрязнения моря при заданных параметрах аварии – мощности, локализации, длительности. В качестве расчетного модуля была использована модель MIKE 21 OS (Oil Spill), в которой учитываются физико-химические свойства нефти и такие важные процессы, как перенос, испарение, эмульсификация, осаждение нефти и ее растекание по поверхности моря.

– Было разработано программное обеспечение по автоматизации многократного запуска расчетов в MIKE 21.

– Разработаны модули, реализующие алгоритмы расчета карты риска нефтяного загрязнения моря и карты риска поражения биоты. Модули расчета реализованы с использованием программных и аппаратных средств высокопроизводительных вычислений, что позволили одолеть временные ограничения для получения результатов.

– Для взаимодействия расчетных модулей с геоинформационной системой разработаны веб-сервисы для управления запуском расчетов риска.

– Реализованная система рискованного картирования обеспечила оперативную обработку данных, хранение данных, возможность произведения многократных расчетов без промежуточного участия специалиста.

– В добавок к данному исследованию, были проведены работы по анализу атмосферного переноса загрязнений с помощью онлайн интегрированной модели Enviro-HIRLAM, адаптированная и настроенная для территории Казахстана. Проведена оценка влияния загрязняющих веществ при аварийном возгорании нефтехранилища с учетом плотности распределения населения. Также, были проанализированы концентрационные поля диоксида серы для оценки уровня загрязнения на основных населенных городах Казахстана. Используя предложенный в данной работе сервис-ориентированный подход, подобную атмосферную модель также можно интегрировать в разработанную платформу без глубокого вмешательства в архитектуру системы и использовать для исследования экологических задач.

Конечным результатом работы стала геоинформационная система, называемая RANDOM (Risk Assessment of Nature Detriment due to Oil spill Migration), предназначенная для специалистов, занимающихся оценкой экологических рисков окружающей среды.

### **Работы, опубликованные автором по теме диссертации**

1. Закарин Э.А., Балакай Л.А., Бостанбеков К.А., Дедова Т.В., Ким Д.К., Кобегенова С.С., Миркаримова Б.М., Нурсейтов Д.Б. Моделирование экологических рисков при нефтяном загрязнении акватории Северо-Восточного Каспия // Монография, Алматы, 2016. – 256 с. ISBN 978-601-06-3939-3

2. Нурсейтов Д.Б. Закарин Э.А. Бостанбеков К.А., Джамалов Д.К. Проектирование ГИС системы по рисковому картированию разливов нефти на

базе ArcGIS for SharePoint // Вестник КазНПУ серия «Физико-математические науки» №3. – Алматы, 2012. – С. 134-139.

3. Bostanbekov K.A., Jamalov J.K., Kim D.K., Nurseitov D.B., Tursunov I.E., Zakarin E.A., Zaurbekov D.L. Service-Oriented GIS System for Risk Mapping of Oil Spills Integrated with High Performance Cluster // The Second International Conference on Informatics Engineering & Information Science (ICIEIS2013). – Kuala Lumpur, Malaysia, 2013. – P. 343-354. <http://sdiwc.net/digital-library/serviceoriented-gis-system-for-risk-mapping-of-oil-spills-integrated-with-high-performance-cluster.html>

4. Bostanbekov K.A., Jamalov J.K., Kim D.K., Nurseitov D.B., Tursunov I.E., Zakarin E.A., Zaurbekov D.L. Integrated workflow-based system for Risk Mapping of Oil Spills with Using High Performance Cluster // International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA) 3(4): The Society of Digital Information and Wireless Communications. – 2013. – P. 115-131. <http://sdiwc.net/digital-library/integrated-workflowbased-system-for-risk-mapping-of-oil-spills-with-using-high-performance-cluster>

5. Muhamedyev R.I., Giyenko A.D., Pyagai V.T., Bostanbekov K.A. Premises for the creation of renewable energy sources GIS monitoring // Proceedings of 8th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies - AICT2014. – Astana, 2014. – P.398-402.

6. Rakhymova A., Omarova D., Bostanbekov K. Numerical simulation of polymer flooding process // Вестник КазНПУ им. Абая. Серия «Физико-математические науки» № 4. 2015, с. 38-43.

7. Закарин Э.А., Балакай Л.А., Бостанбеков К.А., Нурсейтов Д.Б. Система картирования экологических рисков при аварийном разливе нефти на Северном Каспии (RANDOM) // Материалы международной научно-практической конференции «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности». – Астрахань, 2015. – С. 148-149. [http://www.caspc.com/files/Sbornik\\_tez15.pdf](http://www.caspc.com/files/Sbornik_tez15.pdf)

8. Bostanbekov K., Mahura A., Nuterman R., Nurseitov D., Zakarin E., Baklanov A. On-line Meteorology-Chemistry/Aerosols Modelling and Integration for Risk Assessment: Case Studies // Scientific Report 15-06, Danish Meteorological Institute, Copenhagen, 2015. – 32 p. (ISSN: 1399-1949) [https://www.dmi.dk/fileadmin/user\\_upload/Rapporter/TR/2016/sr15-06.pdf](https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2016/sr15-06.pdf)

9. Bostanbekov K., Mahura A., Nuterman R., Nurseitov D., Zakarin E., Baklanov A. On-line Meteorology-Chemistry/Aerosols Modelling and Integration for Risk Assessment: Case Studies // European Geosciences Union General Assembly 2016, Vol. 18, EGU2016-1392-1. – Vienna, Austria, 17–22 April, 2016 <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-1392-1.pdf>

10. Дедова Т.В., Ким Д.К., Кобегенова С.С., Адырбекова К.Б., Бостанбеков К.А. Геоинформационная модель биоразнообразия и уязвимости биоты Северного Каспия. // Геоинформатика, №3. – Москва, 2016. – С. 55-63. <http://pps.kaznu.kz/kz/Main/FileShow2/70296/9/2/61/0/>

11. Omarova D.R., Rakhymova A.T., Bostanbekov K.A., Gussenev I.Sh. Test simulation of oil displacement by waterflooding with reservoir conditions // Материалы Республиканской научно-методической конференции «Актуальные вопросы механики и математики», посвященной 20-летию ЕНУ им.Л.Н. Гумилева. 14-15 октября 2016 г. с. 212-217.

12. Bostanbekov K.A., Nurseitov D.B. The Development of Risk Assessment System for Accidental Oil Spill in the Northern Caspian Sea // Computer Modelling & New Technologies, 20(3). – Riga, 2016. – P.35-41. [http://cmnt.lv/upload-files/ns\\_81art06\\_CMNT2003\\_Bostanbekov.pdf](http://cmnt.lv/upload-files/ns_81art06_CMNT2003_Bostanbekov.pdf)

13. Jamalov J.K., Nurseitov D.B., Bostanbekov K.A. Modelling of non-point source pollution transport for the Charyn River Basin // Computer Modelling & New Technologies, Riga, 2016 20(4), p.23-29. [http://cmnt.lv/upload-files/ns\\_29art05\\_CMNT2004\\_Jamalov.pdf](http://cmnt.lv/upload-files/ns_29art05_CMNT2004_Jamalov.pdf)

14. Бостанбеков К.А., Куандыков А.А. Моделирование переноса загрязняющих веществ при аварийных возгораниях нефтехранилищ // Вестник КазНИТУ, серия «Технические науки» №1. – Алматы, 2017. – С. 357-361.

15. Sass B.H., Mahura A., Nuterman R., Baklanov A., Penenko A., Penenko V., Bostanbekov K. et al. Enviro-HIRLAM/ HARMONIE Studies in ECMWF HPC EnviroAerosols Project // 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria., p.15675. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-15675.pdf>

16. Бостанбеков К.А. Разработка системы оценки риска при аварийном разливе нефти с использованием высокопроизводительных вычислений // Вестник ПГУ серия «Энергетическая» №1, Павлодар, 2017, с. 52-61. [https://vestnik.psu.kz/images/pdf/energetika/energetika\\_1\\_2017.pdf](https://vestnik.psu.kz/images/pdf/energetika/energetika_1_2017.pdf)

17. Бостанбеков К.А., Балакай Л.А. Преобразование метеопараметров из формата GRIB в форматы, требуемые для моделирования в ПО MIKE 21 и визуализации в ГИС // Вестник ПГУ серия «Энергетическая» №1, Павлодар, 2017, с. 62-70. [https://vestnik.psu.kz/images/pdf/energetika/energetika\\_1\\_2017.pdf](https://vestnik.psu.kz/images/pdf/energetika/energetika_1_2017.pdf)

18. Бостанбеков К.А. Разработка системной оболочки для рискованного картирования поражения морской биоты при аварийном разливе нефти // Вестник ЕНУ серия «Естественно-технические науки» №4 II часть, Астана, 2017, с. 249-255. <http://www.enu.kz/downloads/materials/razdel-2-№4-2017.pdf>

19. Бостанбеков К.А., Зейнуллина А.А. Архитектура ГИС системы для рискованного картирования поражения морской биоты при аварийном разливе нефти // Вестник ЕНУ серия «Естественно-технические науки» №4 II часть, Астана, 2017, с. 256-260. <http://www.enu.kz/downloads/materials/razdel-2-№4-2017.pdf>

20. Bostanbekov K., Kim D., Lyssenko R. GIS-based Visualization of Power Flows and Voltages of Electrical Network // Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2017, 12-14 September 2017, Stara Lesna, Slovak Republic, p. 110-113.

21. Бостанбеков К.А., Ким Д.К., Лысенко Р.И. Визуализация напряжений и потоков мощностей схемы электрической сети на основе ГИС // Вестник

КазНИТУ серия «Физико–математические науки» №1, Алматы, 2018, с. 284-289.  
<http://kaznitu.kz/download/document/5560/ВЕСТНИК-2018%20№1.pdf>

22. Бостанбеков К.А., Ким Д.К., Лысенко Р.И., Аратулы К. Пример численного расчета прогнозных метеорологических параметров с помощью модели WRF // Вестник КазНИТУ серия «Физико–математические науки» №1, Алматы, 2018, с. 331-338. <http://kaznitu.kz/download/document/5560/ВЕСТНИК-2018%20№1.pdf>

23. Bostanbekov K., Nurseitov D., Kim D. Risk Assessment Model of Technogenic Pollution of the Environment from Oil Spill in the Northern Caspian Sea // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Padang, Indonesia, Vol.8 (2018) No.1, p. 37-43. [http://ijaseit.insightsociety.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9&Itemid=1&article\\_id=3190](http://ijaseit.insightsociety.org/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=1&article_id=3190)