

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1 Методики прогнозирования состояния береговой зоны	9
1.0.0.1 Геоинформационные системы	12
1.0.0.2 Технологии ГИС	14
2 Проектирование ГИС для прогнозирования береговой зоны	17
2.1 Концептуальная модель предметной области	18
2.1.0.1 Этапы моделирования	29
2.2 Проектирование информационно-вычислительной инфраструктуры	30
2.2.1 Функциональные требования	30
2.2.2 Вычислительные процессы в ИВИ	30
2.2.3 Архитектура системы	31
2.2.4 Распознавание контура береговой линии	33
2.2.4.1 Библиотека Segment Anything	33
2.2.5 Анализ структуры объектов изображения	33
3 Реализация подсистем распределенной вычислительной среды	38
3.0.1 Модуль управления процессом моделирования	38
3.0.2 Интерфейс REST загрузки и обработки изображений	39
3.0.3 Хранение изображений	44
3.0.3.1 Стандарт HDF5: формат и инструментарий	44
3.0.3.2 Хранение изображений и масок	44
3.1 Тестирование	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	48

ВВЕДЕНИЕ

Фундаментальные исследования уникальных экологических систем, какой является береговая зона крупного водного объекта, проводимые в мире и России, базируются на мониторинге, хранении и обработке больших объемов научных пространственно-временных данных и знаний, а также на использовании распределенных информационно-вычислительных технологий и их приложений, современных сетей передачи данных.

Береговая зона крупного водохранилища. Водохранилища – регулируемые водохозяйственные и природные объекты, формирующие единую природно-техническую систему.

Объектом исследования является Братское водохранилище (рисунок 1). На карте красным цветом выделены участки береговой зоны с высокой интенсивностью абразионного размыва (ширина абразивного размыва 50-200 м).

При долгосрочном прогнозе абразионной переработки берегов Братского водохранилища на 25-летний период эксплуатации, сделанного Г. И. Овчинниковым в 90-х годах прошлого века [Овчинников, Павлов, Тржцинский, 1999], максимальные размывы (до 100 м) прогнозировались для участков, сложенных рыхлыми отложениями основной акватории правого берега водоема. Протяженность берегов Братского водохранилища составляет 6030 км, около 38 % сложено рыхлыми четвертичными отложениями. Абразионные берега составляют 2056 км (34.2 % общей протяженности берегов) [Овчинников, 2003]. Максимальная ширина размыва характерна для склонов, сложенных рыхлыми образованиями (пески, лессовидные супеси и суглинки), минимальные – для скальных и полускальных грунтов (песчаники, доломиты, известняки, алевролиты, аргиллиты, мергели) (рисунок 1).

Результаты долговременного мониторинга показали, что после более 50-ти лет эксплуатации Ангарских водохранилищ береговая зона все еще не достигла стадии устойчивого равновесия. Сохраняется стабильная динамика абразионного размыва, особенно береговых склонов, сложенных рыхлыми отложениями (рисунок 1).

На рисунке 2 показаны многолетние изменения уровня воды в водохранилище — основного фактора, вызывающего деградационные геологические процессы, частично находящегося под управлением технологических процессов каскада электростанций Иркутской области.

От стабильности береговой зоны зависит возможность ее технического, рекреационного и др. видов использования, особенно в условиях, когда уровень воды регулируется технически в достаточно большом диапазоне значений сезонного (2-3 м) и многолетнего регулирования (до 10 м).

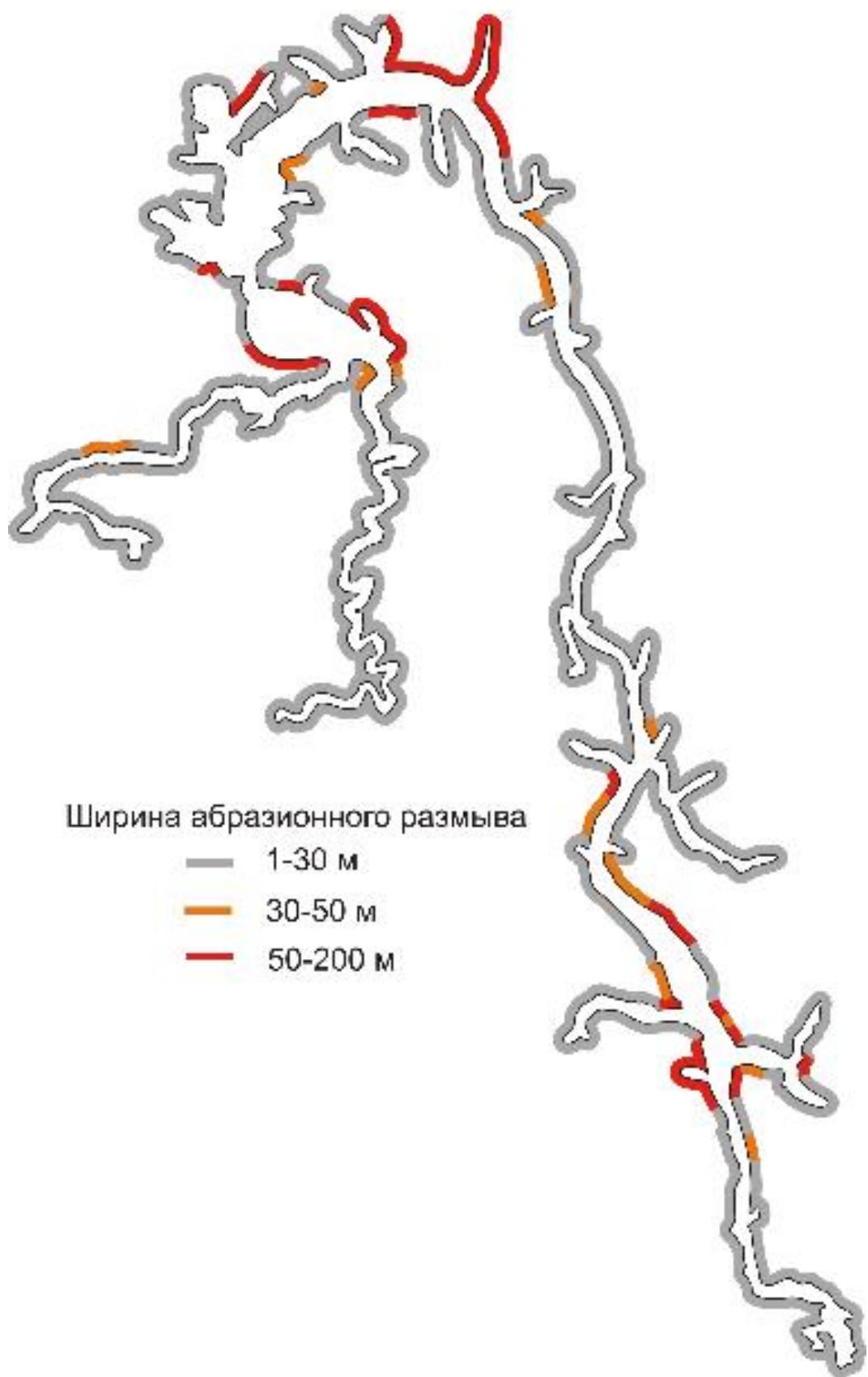


Рисунок 1 – Карта районирования берегов Братского водохранилища по ширине абразионного размыва

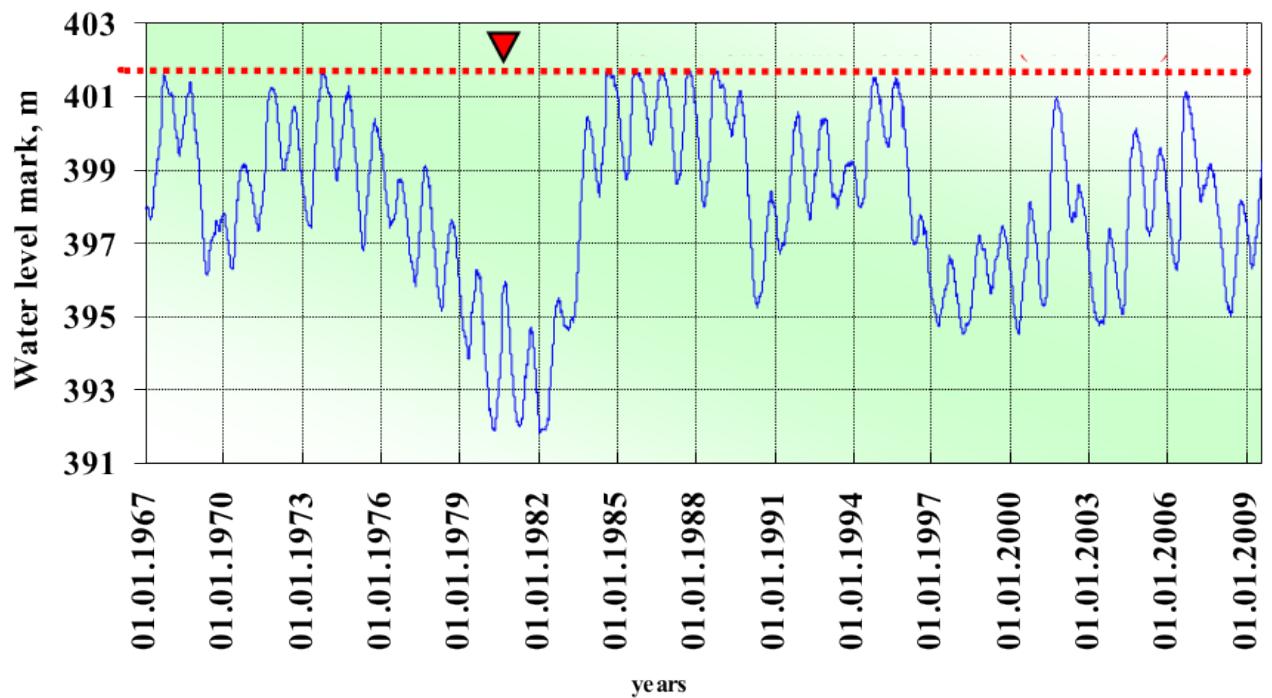


Рисунок 2 – Изменение уровня Братского водохранилища за период 1967-2009 гг (по данным метеостанции Балаганск)

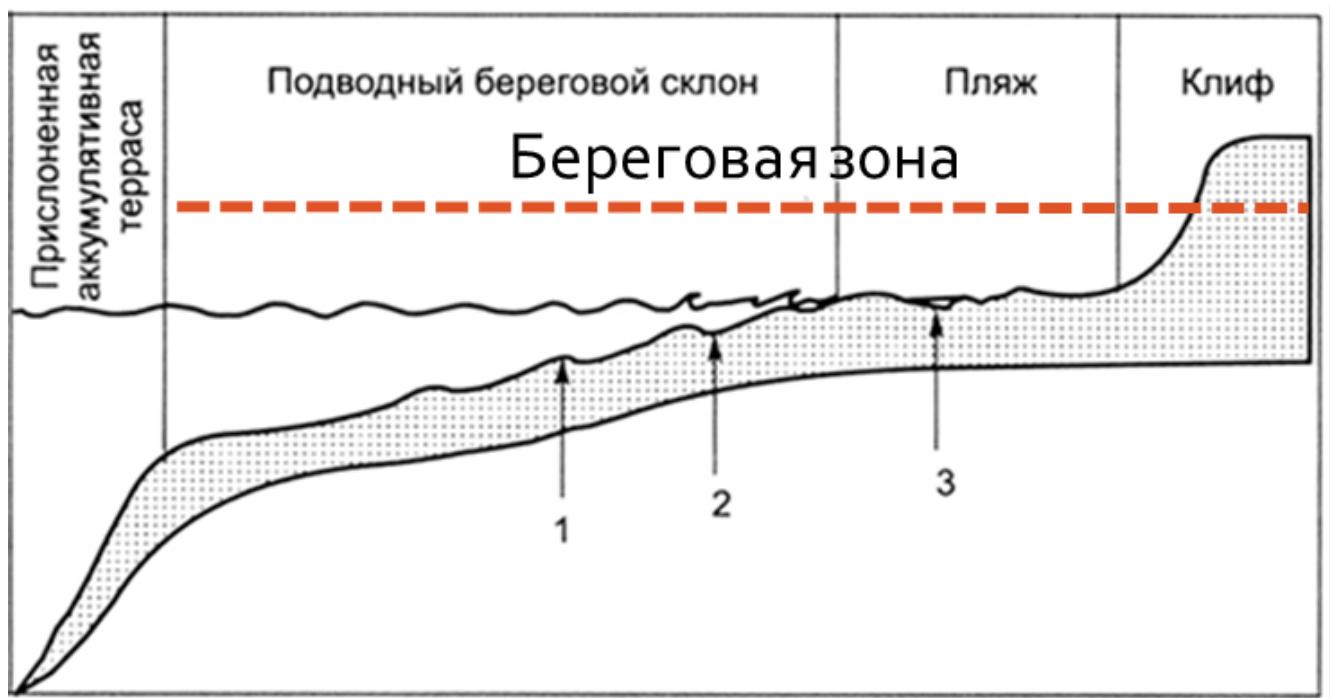


Рисунок 3 – Схема строения береговой зоны водоема

За положение береговой линии принята последовательная линейная характеристика - положение бровки берегового уступа, которое изменяется под воздействием волновой деятельности водохранилища и процессов разрушения берегового уступа.

Для формирования политики использования береговой зоны необходимо проводить мониторинг геологических процессов береговой зоны водохранилищ, для этого необходимо проводить каталогизацию и хранение данных, включая исторические данные и современные. До использования спутниковых изображений для получения первичных данных о контуре береговой линии использовались полевые измерения и исследования и аэрофотосъемка. В настоящее время стали доступны съемка со спутника, получение ортофотопланов при помощи квадрокоптеров, измерения ключевых точек при помощи GPS/GLONASS.

Количество данных, таким образом, становится достаточно большим и требует цифрового представления в виде информационной системы, отражающей данные на некоторую координату. В связи с этим одним из важнейших компонентов информационных ресурсов являются геоинформационные системы, поскольку они позволяют согласованно представлять и системно анализировать информацию о географически связанных объектах природной среды и при этом собирать и хранить данные с автоматизированных средств наблюдений и классических средств сбора, осуществлять их автоматизированную обработку и представление в картографическом виде.

Для мониторинга краткосрочной и долгосрочной динамики изменений протяженных побережий в Европе (Kabuth A. K., Kroon A., Pedersen J. B. T., 2014), странах Юго-Восточной и Южной Азии [Isha I. B., Adib M. R. M., 2020; Matin N., Hasan G. M. J., 2021] применялась DSAS.

Цель работы - разработать геоинформационную систему крупного водного объекта для мониторинга береговой зоны.

Задачи

1. Проведение полевых исследований (снятие координат),
2. Оцифровка данных береговой линии (координат, спутниковых изображениях, аэрофотоснимков, ортофотопланов),
3. Реализация автоматизации некоторых этапов п.2 на основе современных технологий,
4. Организация доступа к внешним данным (уровни водохранилища),
5. Прогнозирование динамики береговой зоны,
6. Оценка влияния опасных факторов на технические и социальные объекты в береговой зоне.

Научная новизна разработанных технологий и полученных результатов заключается в использовании новых алгоритмов распознавания объектов на растровых изображениях (линий бровки берегового уступа) при условии ограниченности вычислительных ресурсов и информационного обеспечения.

Автоматизация распознавания береговой линии: обзор технологий

Фундаментальные исследования уникальных экологических систем, какой является береговая зона крупного водного объекта, проводимые в мире и России, базируются на мониторинге, основывающимся на больших данных. Мониторинг опасных экзогенных геологических процессов входит в единую информационную систему Государственного мониторинга состояния недр, который является составной частью государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды. Результаты долговременного мониторинга Братского водохранилища показали, что после более 50-ти лет эксплуатации Ангарских водохранилищ береговая зона все еще не достигла стадии устойчивого равновесия. Разрушение берегов под воздействием природных геологических процессов (абразии, карста, эрозии, оползней) в значительной мере осложняет функционирование береговой зоны. От стабильности береговой зоны зависит возможность ее технического, рекреационного и др. видов использования, особенно в условиях, когда уровень воды регулируется технически в достаточно большом диапазоне значений сезонного (2-3 м) и многолетнего регулирования (до 10 м).

Наборы данных мониторинга характеризуются разнородностью и разноструктурированностью (электронные таблицы, тематические карты, космоснимки, 3D-модели, фото и видеозображения), пространственно-временной привязкой, большим объемом и высокой скоростью роста объемов информации. В данном исследовании рассматривается проблема автоматизированного преобразования растрового представления изменяющегося во времени контура береговой линии крупного равнинного водохранилища в векторный формат для дальнейшего мониторинга геологических процессов.

В исследовании [2] предложен подход к поддержке решения задачи выявления и мониторинга береговых линий и оценке эрозии берегов. При помощи спутниковых снимков высокого разрешения территории Вьетнама, использовались модели глубокого обучения. Цели исследования: (1) предложить индикаторы для идентификации береговых линий и берегов; (2) построить модели глубокого обучения (DL) для автоматического дешифрирования береговых линий и берегов по снимкам дистанционного зондирования высокого разрешения; и (3) применить модели, обученные DL, для мониторинга эрозии берегов Вьетнама. Получены восемь DL-моделей на основе четырех вариантов искусственных нейронных сетей, включая U-Net, U2-Net, U-Net3+ и DexiNed. В качестве исходных данных для обучения моделей использовались изображения высокого разрешения, полученные с помощью программы Google Earth Pro. В результате U-сеть, использующая размер входного изображения 512×512 , обеспечила наивысшую производительность 98 % при функции потерь – 0.16. Результаты интерпретации этой модели использованы для идентификации береговой линии при оценке эрозии берегов из-за повышения уровня моря и штормов в течение 20 лет. Результаты показали, что линия уреза воды идеально подходит для наблюдения за сезонными приливными изменениями или непосредственными движениями волн, то линия бровки подходит для оценки береговой эрозии, вызванной влиянием повышения уровня моря и штормов. Данная работа сформировала отношение к тому, как модель U-Net может быть использована для прогнозирования

изменений береговой линий государств, граничащих с мировым океаном.

Разработка автоматизированной масштабируемой методики выделения береговой линии на основе спутниковых снимков в настоящее время ограничена низкой доступностью открытых, глобально распределенных и разнообразных размеченных данных, на основе которых можно разрабатывать и тестировать методики. В исследовании [3] представлен Sentinel-2 Water Edges Dataset (SWED), новый и специально разработанный набор маркированных изображений для разработки и тестирования методов автоматического извлечения данных о морфологии береговой линии, используя снимки Sentinel-2. SWED состоит из 16-ти размеченных сцен Sentinel-2 для обучения и 98-ми пар «метка-изображение» для тестирования, данные получены из разных мест мира и содержат примеры большого количества различных типов береговой линии, природных и антропогенных особенностей береговой линии. Для получения оценки качества распознавания для SWED обучены и протестированы четыре модели конволюционных нейронных сетей, основанных на архитектуре U-Net. Модели оптимизированы с использованием категориальной потери перекрестной энтропии, потери Сёренсена-Дайса и двух новых функций потерь, которые используются для фокусировки внимания обучения модели на границе вода-суша. С помощью гибридного процесса количественной и качественной оценки модели показано, что модель, обученная с использованием новой функции потерь Sobel-edge, обладает большей чувствительностью к мелкомасштабным, узким особенностям береговой линии, в то время как количественная производительность, продемонстрированная категориальной перекрестной энтропией, близка к максимальной. Набор данных SWED опубликован в открытом доступе для использования сообществами специалистов по дистанционному зондированию и машинному обучению, а потеря Sobel-edge доступна для использования в приложениях машинного обучения, где важна чувствительность к граничным особенностям.

Статья [4] рассматривает задачу сегментации морской территории (СМТ) – важной задачи дистанционного зондирования для различных береговых и экологических исследований, таких как выделение береговой линии, береговая эрозия, мониторинг прибрежных районов, обнаружение судов или айсбергов. Данное исследование направлено на улучшение производительности СМТ путем модификации модели Standard U-Net (SUN) и разработки системы автоматического выделения береговой линии. Модель SUN в целом имеет приемлемые характеристики для многих приложений, но вопросы повышения надежности выделения береговой линии остаются актуальными. В предложенной системе в первую очередь анализируются три различных входных изображения: красно-зелено-синие (RGB), нормализованный индекс разности воды (NDWI) и изображения ближнего инфракрасного диапазона (NIR). Затем для улучшения результатов сегментации в архитектуру SUN внесены изменения. Основные модификации заключаются в использовании различных функций потерь и двух методов слияния для RGB- и NIR-изображений. Результаты сегментации переданы в последующий конвейер автоматического выделения береговой линии на основе морфологических операций и анализа связности пикселей. Этапы обучения и тестирования выполнены на основе эталонного набора данных о прибрежных районах Китая. Кроме того, для оценки эффективности алгоритмов собран дополнительный набор данных, состоящий из временного ряда снимков Landsat-8 Южного побережья Каспийского моря. Результаты показывают, что

предложенные изменения эффективно повышают производительность SUN, при этом наиболее значительное улучшение показателя «пересечения над объединением» (IoU), значение которого достигает 1,68% и 8,95% в наборах данных Китая и Каспийского моря, соответственно, а также превосходит другие современные модели, включая FC-DenseNet и DeepLabV3+.

Таким образом, современные средства [2]-[4] автоматизации построения контуров береговых линий строятся с использованием нейронных сетей (НС) глубокого обучения, получаемых, в некоторых случаях, при помощи дообучения. Процесс обучения организуется на основе большого количества размеченных спутниковых изображений, разметка делается вручную, что достаточно трудоемко. Применяемый в данной ВКР подход основывается на использовании предобученной НС Segment Anything (SA), распознающей предметы (порядка миллиона классов) на изображении. SA не обучалась на распознавание береговых линий, но тестовые испытания показали хорошие результаты выделения контуров областей, граничащих с береговой линией. Чтобы определить контур, необходимо распознать объекты, включающие точки контура. Для этого необходимо провести процесс распознавания, с использованием дополнительной эвристической информатизации.

Процесс распознавания контура реализуется пошагово: 1) в ГИС (геоинформационной системе) выбирается интересующая область и контур береговой линии с векторной карты OpenStreetMap, данный контур является начальным приближением результата; 2) для выбранной области с серверов дистанционного зондирования загружаются изображения с разметкой по конкретным датам, изображения помещаются в серверное хранилище; 3) запуск системы SegmentAnything в режиме распознавания всех возможных объектов, результат распознавания в виде набора бинарных масок сохраняется на сервере; 4) алгоритмический анализ свойств объектов, представленных масками, и их расположение относительно друг друга и краёв изображения, результаты сохраняются в Абоксе онтологии на сервере; 5) анализ взаимного расположения объектов, выявление множества точек, относящихся к береговой линии; 6) построение контура по выявленным точкам (перевод в векторный формат), сохранение результата в shape-файл.

Преимущества предложенного подхода – это а) отсутствие трудоемкого этапа подготовки данных для обучения НС, б) распознавание контура представляется (программируется) в виде правил, что дает возможность управлять процессом распознавания, в частности «сцеплять» объекты или контуры с разных изображений; в) SA, ввиду обученности на большом количестве изображений не привязана к свойствам конкретных изображений (размеру, цветовой гамме, повороту и т.д.), что позволяет г) реализовывать (в перспективе) процедуры последовательного уточнения характеристик береговой линии, переходя к изображениям более высокого разрешения.

1 Методики прогнозирования состояния береговой зоны

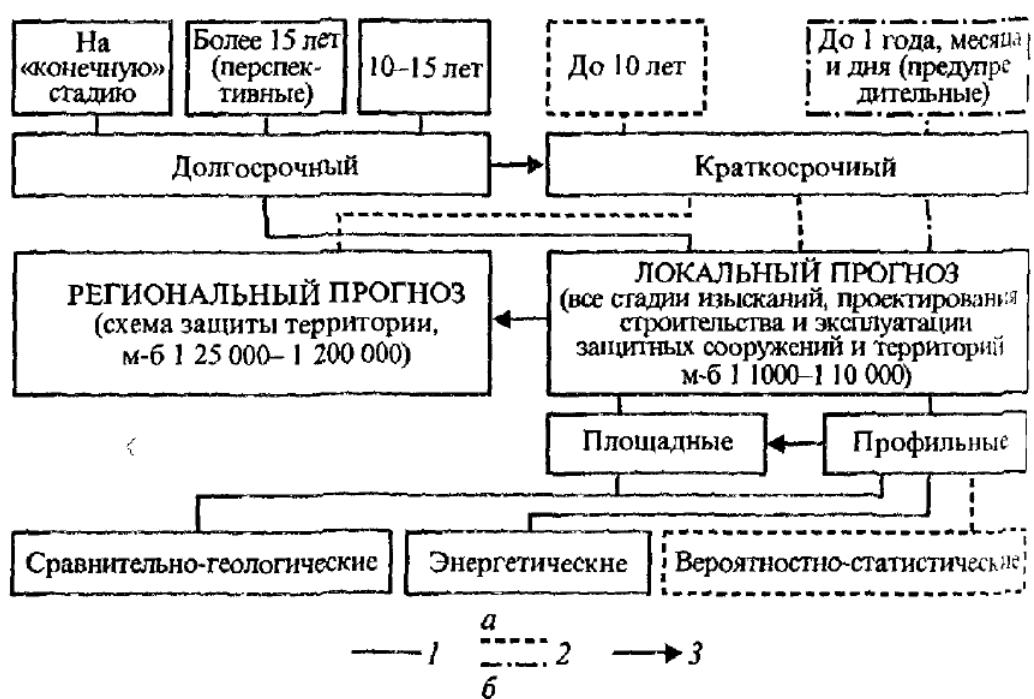
Прогнозирование изменений геологической среды является одним из приоритетных научных и прикладных направлений в науках о Земле. Мониторинговые исследования за изменениями природно-технических систем и их отдельных элементов являются надежной базой для прогнозных оценок.

В 1972 году на Стокгольмской конференции ООН Р. Манном впервые было введено понятие глобального мониторинга окружающей среды (global environmental monitoring system — GEMS), которым он обозначил систему повторных наблюдений окружающей среды в пространстве и времени. С этого момента термин «мониторинг» вошел в нашу научную литературу и стал применяться в разных областях знаний, в том числе и в области геологии [Иванов, Тржинский, 2001]. В области инженерной геологии стационарные наблюдения сопутствовали инженерным изысканиям на всех сложных объектах. Первая оползневая станция ЦНИГРИ в Крыму была организована в 1930 году.

Для Ангарского каскада ГЭС лабораторией инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН была создана система геодинамических полигонов и стационаров, расположенных в различных ландшафтных условиях. Систематические ежегодные наблюдения за отдельными видами ЭГП проводились на 77 участках, среди которых на 43 изучалась абразия, на 15 – гравитационные процессы, на 11 – карстово-суффозионные и на 8 – эрозионные [Козырева, Бабичева, Мазаева, 2018].

Целью мониторинговых исследований является изучение режима и условий функционирования локальных береговых геосистем и их изменения под воздействием техногенных факторов, связанных с созданием и режимом эксплуатации водохранилища.

В нашей стране наиболее применяемыми в настоящее время являются методы, предложенные Е. Г. Качугиным (1959), Г. С. Золотаревым (1969), Н. Е. Кондратьевым (1960), Е. К. Гречишевым (1961) Л. Б. Розовским, И. П. Зелинским (1975), И. А. Печеркиным (1969), Институтом земной коры СО РАН (1976 г.), ПНИИСом (Рагозин и Бурова, 1993) и другими научными коллективами. По различным критериям все виды прогнозов переработки берегов водохранилищ могут быть объединены в три разных класса (рис.) [Иванов, Тржинский, 2001]. Так, временные прогнозы подразделяются на краткосрочные (предупредительные) с периодами прогнозирования от 1 до 10 лет и долгосрочные (перспективные), включающие прогнозы на 10 и более лет, в том числе на конечную стадию развития берега. Пространственные прогнозы объединяют в себе локальные, характеризующие переработку по отдельным профилем (профильный прогноз) или участкам (площадной прогноз) и выполняемые в масштабах 1:1000—1; 10000; и региональные, характеризующие переработку по периметру всего водохранилища или его отдельной части и производимые в масштабах 1:25 000—1:200000. По теоретическим предпосылкам обоснования расчетов все методы подразделяются на три группы — энергетические, геологического подобия и вероятностно-статистические (или стохастические, по Г. С. Золотареву (1990)).



выполняемые на водохранилищах: 1 — проектируемых и эксплуатируемых; 2 — эксплуатируемых:
а — на всех стадиях изысканий и проектирования инженерной защиты, б — в процессе строительства и эксплуатации; 3 — последовательность выполнения прогнозов.

Рисунок 1.1 – Схема прогнозов процессов переработки берегов водохранилищ при инженерных изысканиях для освоения и защиты прибрежные территории [по Рекомендациям..., 1986]

В научно-технической литературе известны три группы методов прогнозной оценки переработки берегов водохранилищ:

1. энергетические (Качугин Е.Г. [1], Кондратьев Н.Е. [2] и др.);
2. сравнительно-геологические (Золотарев Г.С. [3], Розовский Л.Б. [4] и др.);
3. вероятностно-статистические (Епишин В.К., Экзарь н В.Н. [5]).

Энергетические методы при прогнозе преимущественно учитывают энергию волнения (гидрологический фактор), область применения их ограничена простыми и однородными в инженерно-геологическом отношении условиями, характеризуются низкой точностью прогнозной оценки. Для их обоснования требуются значительные трудозатраты по каждому расчетному поперечнику. Применимы только на первой стадии переработки берегов действующих водохранилищ.

Сравнительно-геологические методы основаны на аналогиях природно-техногенных условий водохранилищ. Основные трудности, снижающие точность прогнозных оценок в этих методах связаны с подбором надежных аналогов и выбором критериев подобия, что редко удается сделать в реальных условиях.

Метод вероятностно-стохастических моделей [5] по своей технической сущности наиболее близок к предлагаемому техническому решению (прототип). Этот метод заключается в учете зависимостей переработки берегов от различных природно-техногенных факторов по данным режимных наблюдений с построением стохастических моделей процесса. Его основной недостаток, несмотря на большие трудозатраты снижающий точность прогнозной оценки, заключается в недочете общих закономерностей развития процесса, стадийности формирования берегов, требует большого объема режимных наблюдений по каждому расчетному поперечнику в отдельности.

В Институте земной коры СО РАН Е. К. Гречищевым (1961). был разработан энергетический метод, позволяющий производить прогноз ширины зоны размыва на разное количество лет. Для прогноза необходимы сведения по ветровому волнению, определяющему энергию, знание уровенного режима водоемов, точные инженерно-геологические разрезы по расчетным профилям и данные по размываемости грунтов. Ширина зоны размыва определяется через объем размытых горных пород.

Позже по результатам исследований динамики берегов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС и выявленных закономерностей развития береговой зоны был сделан прогноз размыва берегов на 25-летнюю стадию развития [Овчинников, Павлов, Тржцинский, 1999]. Расчеты производились по методике, разработанной в Институте земной коры СО РАН, учитывающей весь спектр факторов (геолого-геоморфологические, морфометрические, гидродинамические и техногенные), влияющих на динамику берегов. Кроме того, использовались прогнозно-диагностические модели динамики берегов, построенные на основе многолетних рядов наблюдений по стационарным участкам, расположенным в различных геолого-геоморфологических и гидродинамических условиях. Учет влияния колебания уровня воды в водохранилищах оценивался его повторяемостью на определен-

ных отметках в пределах выделенных полутораметровых подзон. Прогноз был выполнен с учетом того, что в 50

1.0.0.1 Геоинформационные системы

Геоинформационные системы (ГИС) - это автоматизированные системы, функциями которых являются сбор, хранение, интеграция, анализ и графическая интерпретация пространственно-временных данных, а также связанной с ними атрибутивной информации о представленных в ГИС объектах. Классификация ГИС: Виды ГИС (<https://trends.rbc.ru/trends/industry/61f8fb399a7947618807cc41>) Географические информационные системы классифицируют по-разному в зависимости от масштабности и функционала, а также других признаков.

По территориальному охвату ГИС бывают:

- глобальными;
- субконтинентальными;
- национальными;
- региональными;
- субрегиональными;
- локальными или местными.

По уровню управления:

- федеральными;
- региональными;
- муниципальными;
- корпоративными.

По функциональности:

- полнофункциональными;
- для просмотра данных;
- для ввода и обработки данных;
- специализированными с дополнительными функциями.

По предметной области:

- картографическими;

- геологическими;
- городскими или муниципальными;
- природоохранными,
- туристическими.

Если в ГИС присутствуют возможности цифровой обработки изображений, то такие системы называются интегрированными ГИС (ИГИС). Полимасштабные, или масштабно-независимые ГИС обеспечивают графическое или картографическое воспроизведение данных в любом масштабе с наибольшим разрешением. Пространственно-временные ГИС работают с данными во времени.

Предметом исследования ВКР является процесс сбора данных и построения прогноза изменения береговой линии водохранилища.

Для обеспечения оценки состояния береговой зоны и ее перспективного состояния может быть оценено при помощи получения дополнительных данных в результате математического моделирования. Процесс размывания/накопления грунта зависит от комплекса природных и внешних факторов таких как:

- Положение и продолжительность стояния уровня водохранилища;
- Геолого-геоморфологические условия строения береговой зоны;
- Ветро-волновая нагрузка на участке берега размыва.

Самым точным емким информационным- подходом является моделирование процесса размыва как физического процесса. Такой подход требует большое количество данных и построение сложных алгоритмов моделирования, а также много вычислительных ресурсов. В результате получается краткосрочный прогноз.

В данной работе использована модель грубой оценки контура береговой линии на основе проведения экстраполяции при помощи метода, реализованного в библиотеке DSAS, реализованной в виде модуля ArcGIS. Исходный код является открытым и представлен на языке C#.

- Прогноз DSAS смотрится при помощи экстраполяции точек контура, исходя из данных о контурах линий, соответствующих определенным датам съемки. Подход обладает рядом преимуществ:
 - Не требует больших вычислительных ресурсов,
 - Не требует данных о конкретных геологических процессах,
 - Прост в реализации,
 - Для модели не требуется большое количество данных,

- Данные могут охватывать большие диапазоны дат,
- Реализует прогноз на далекую перспективу,
- Случайные техногенные воздействия “усредняются” повторяющимися постоянными природными факторами.

К недостаткам модели можно отнести:

- Модель дает достаточно грубую оценку расположения контура береговой линии,
- Достаточно сложно использовать при наличии периодически меняющихся факторов воздействия (см. например, проблематику моделирования уровня Каспийского озера).

Факторы воздействия на береговую линию Братского водохранилища характеризуются В связи с этим применение именно этой модели позволит сделать первый шаг в построении системы поддержки принятия решения о характере деградационных процессов береговой зоны, и, таким образом, поможет представить необходимую информацию муниципальному хозяйству данные о политике использования того или иного берега.

Как было сказано ранее одной из проблем использования математического моделирования - это информационное обеспечение, т.е. создание возможности подачи исходных данных в процесс моделирования. Для применения DSAS необходимо представить набор файлов требуемой структуры - Shapefile с контурами береговых линий, и соответствующий ему файл данных - значения атрибутов. Контуры и атрибуты могут быть получены при помощи привязки и оцифровки контуров в авиа- и спутниковых снимков. Процедура оцифровки достаточно трудоёмкая, и в данной ВКР предлагается подход к ее частичной автоматизации на основе анализа результатов приложения современных методов распознавания объектов на изображении.

1.0.0.2 Технологии ГИС

Каждому пространственному объекту соответствует запись в базе данных с набором атрибутивной информации. ГИС хранит информацию в виде набора тематических слоев, которые объединены на основе географического положения.

Преимущество ГИС в том, что эта система позволяет преодолеть основные недостатки обычных карт - их статичность и ограниченную емкость как носителя информации. В последние десятилетия бумажные карты из-за перегруженности информацией становятся нечитабельными. ГИС же обеспечивает управление визуализацией информации.

ГИС в отличие от других информационно-аналитических систем обрабатывает и анализирует пространственные данные. Информация об этих пространственных данных в цифровой форме называется геоинформацией.

Работающая ГИС включает в себя пять ключевых составляющих: аппаратные средства, программное обеспечение, данные, исполнители и методы.

Программы для ГИС-приложения включают в себя как аппаратную, так и программную составляющие. Они объединяют различные типы информации, среди которых: картографические данные — представлены в виде карты и могут включать такую информацию, как расположение рек, дорог, жилых и нежилых строений; аэрофотоснимки и обычные фотографии и данные со спутников; данные дистанционного зондирования (обычно с применением воздушных шаров и дронов); глобальные системы позиционирования (GPS); данные из Интернета; документы, включая архивные таблицы и каталоги координат; данные из других



Рисунок 1.2 – Процесс создания ГИС

Технология ГИС позволяет накладывать все типы информации, независимо от их источника или исходного формата, поверх друг друга на одной карте. ГИС использует местоположение в качестве ключевой переменной, чтобы связать эти, казалось бы, несвязанные данные. Ввод информации в ГИС называется сбором данных. Информацию, которая уже находится в цифровой форме, можно просто загрузить в систему. Однако сначала карту необходимо отсканировать или преобразовать в цифровой формат (оцифровка данных).

Географические информационные системы включают три компонента:

Данные: ГИС хранит данные о местоположении в виде слоев информации по разным темам. Каждый набор данных имеет таблицу атрибутов, в которой хранится информация об объекте. Два

основных типа формата файлов ГИС — растровый и векторный. Растровый представляет собой сетки из ячеек или пикселей. Он полезен для хранения различных ГИС-данных. Векторный формат выглядит как многоугольник, в котором используются точки (называемые узлами) и линии. Векторные файлы нужны для хранения данных ГИС с четкими границами, такими как городские округа или улицы. В итоге технология позволяет отображать пространственные и линейные зависимости. Пространственные показывают топографию местности (поля, ручьи), а линейные представлены дорогами или коммунальными сетями.

Аппаратный компонент, который запускает программное обеспечение ГИС. Это может быть что угодно: мощные серверы, мобильные телефоны или персональные рабочие станции. Как правило, в работе с ГИС нужны два монитора, дополнительное хранилище данных и графические карты высокой четкости.

Программное обеспечение. Оно специализируется на пространственном анализе с использованием математики в картах. Такое ПО сочетает в себе географию с современными технологиями для измерения, количественной оценки и анализа. В ГИС. обычно используют языки программирования Python, SQL, C ++, Visual Basic и JavaScript.

В ГИС информация со всех различных карт и источников должна соответствовать одному масштабу — соотношению между расстоянием на карте и фактическим расстоянием на Земле. При этом разные карты имеют разные проекции. Чтобы перенести изогнутую трехмерную форму на плоскую поверхность, неизбежно требуется растяжение одних частей и сжатие других. Так, на карте мира могут быть показаны либо страны правильного размера, либо их правильные формы, но нельзя отобразить эту информацию одновременно. ГИС берет данные с разных карт мира и объединяет ее, чтобы отобразить в одной общей проекции. Одними из популярных программ ГИС считаются ArcGIS и QGIS.

Таким образом, для обеспечения возможности проведения научных исследований в области инженерной геологии береговых зон водохранилищ необходимо создать ресурсы хранения информации и вычислительные ресурсы, обеспечивающие продуктивную среду прогнозирования с использованием различных математических моделей. модели предназначены для решения задач и ранжируются по видам задач, масштабу исследуемого объекта, размеру интервала времени, степени точности.

2 Проектирование ГИС для прогнозирования береговой зоны

Анализ предметной области, представленный в Главе 1, показал, что для получения качественно новых результатов научных исследований в инженерной геологии береговых зон внутренних водоемов, необходимо создать ресурсы хранения, преобразования, обеспечения эффективного доступа к этой информации, а также ее визуализации. Перечисленным свойствам удовлетворяют программные системы, называемые *информационными системами* (ИС). Наличие пространственной привязки данных, т.е. ассоциирование конкретной информации с точкой или каким-то объектом на поверхности Земли, переводит ИС в класс *географических информационных систем*. Если элементы (*функциональные блоки*) ИС исполняются на отдельных вычислительных узлах или узлах хранения данных локальной вычислительной сети, и даже в отдельных процессах одного вычислительного устройства, то какая ИС относится к классу *распределенных информационных систем* (*распределенных программных комплексов*), а совокупность сетевых ресурсов, вовлеченные в информационно-вычислительные процессы называется *информационно-вычислительной инфраструктурой* (ИВИ).

В настоящее время элементы ИВИ представляют в виде сервисов, т.е. функциональных блоков, выполняющих заданные операции, получая исходные данные из сети (с другого сервиса) по определенному протоколу, и отправляющие результат также в сеть (на другой сервис). Экстремальным вариантом сервисной ИВИ является так называемая *микросервисная архитектура*. Набор реализуемых функций в таких сервисах минимизирован, и распределенный программный комплекс реализуется композицией большого числа таких микросервисов, сконфигурированных согласно дизайну ИВИ. Преимуществом такого подхода является больший потенциал к повторному использованию кода, поддержка стандартизации между отдельными проектами, более гибкой интеграции с другими ИВИ. Кроме того, функционирование процессов микросервисов, как правило, более предсказуемо, что дает возможность более надежного и качественного управления ИВИ.

При проектировании ИВИ решается задача управления распределенным вычислительным процессом – *синхронизацией* работы *сервисов*. Стандартный способ синхронизации работы сервисов в ИВИ – это использование специальных сервисов, называемых *брокеров сообщений* (*message brokers*). Брокеры сообщений позволяют конфигурировать ИВИ и управлять этой средой таким образом, чтобы логика вычислительного процесса соответствовала реализуемому алгоритму обработки данных. Также этот сервис обеспечивает перезапуск процессов в ИВИ в случае перезапуска узлов и локальной вычислительной сети. Еще одна функция – это распределение и, в некоторых случаях, перераспределение, балансировка вычислительной нагрузки между узлами, реализующими один и тот же сервис.

Таким образом, представленные в Главе 1 проблемы решаются при помощи реализации распределенной вычислительной среды обеспечения сервисов хранения и обработки данных, где некоторыми функциональными блоками выступают геоинформационные системы.

2.1 Концептуальная модель предметной области

Основная цель исследований заключается в создании системы поддержки принятия решения об оценке состояния береговой зоны водохранилищ, включая опасные геологические процессы. Процесс принятия решений опирается на концептуальное моделирование предметной области. В настоящее время стандартным методом представления концептуальных моделей являются онтологии, явные спецификации концептуального уровня представления предметной области [Грубер, 1996].

Спроектированная онтология (рисунки??, 2.2), описывает предметную область инженерной геологии, связанную с развитием и мониторингом экзогенных процессов на берегах водохранилищ. Водохранилища являются искусственно созданными водоемами в отличие от озер. После их создания (в результате строительства ГЭС на реках) на берегах стали активно развиваться экзогенные процессы. На отдельных участках берега исследователи изучают формы экзогенных процессов (воронка, овраг, оползень, эоловая форма), геоморфологические и геологические условия их развития. Для каждого участка определены координаты (*latitude*, *longitude*, протяженность в метрах). В зависимости от преобладающих процессов можно определить генетический тип берега. Онтология содержит: 34 класса (рис. 4), 24 свойств и 21 индивидуумов (Рис. 12). Свойства включают примитивные (data property) – 13 (рис. 6) и объектные (object property) – 11 (рис. 7).

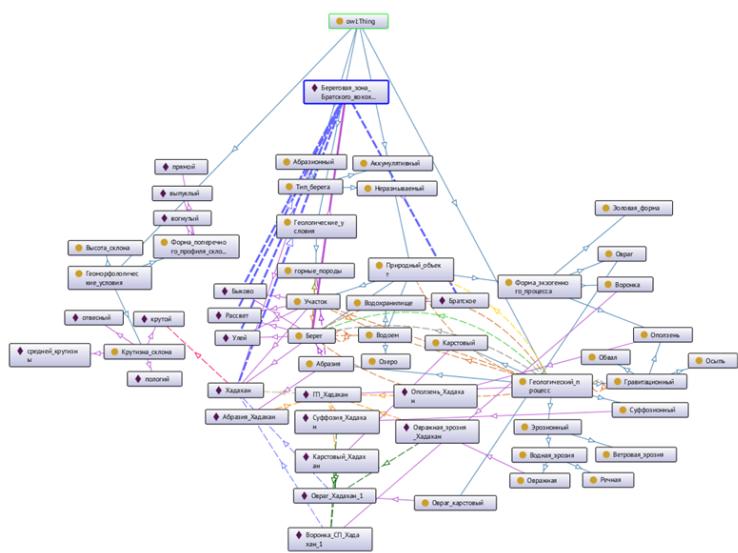


Рисунок 2.1 – Скриншот экрана с созданной онтологией в OntoGraph

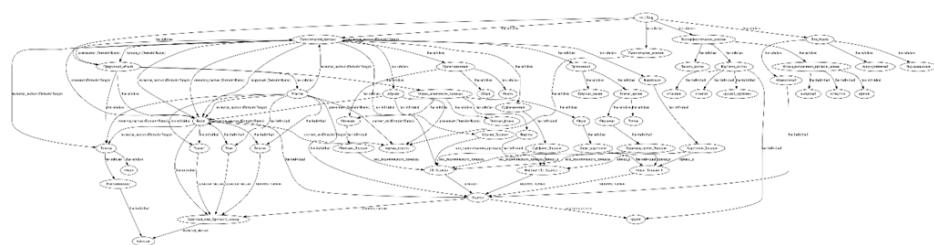


Рисунок 2.2 – Графическое изображение созданной онтологии, построенная в программе xdot

К важным терминам предметной области относятся термины:

- природный объект;
- водоем;
- берег;
- участок;
- форма экзогенного процесса.

Их иерархия показана на рисунке 2.5.

Далее представлены скриншоты экранных форм с вкладками созданных свойств и индивидуумов (рисунок 2.9).

Ontology metrics:		[Print]
Metrics		
Axiom	222	
Logical axiom count	145	
Declaration axioms count	77	
Class count	34	
Object property count	11	
Data property count	13	
Individual count	21	
Annotation Property count	0	
Class axioms		
SubClassOf	30	
EquivalentClasses	0	
DisjointClasses	1	
GCI count	0	
Hidden GCI Count	0	
Object property axioms		
SubObjectPropertyOf	8	
EquivalentObjectProperties	0	
InverseObjectProperties	0	
DisjointObjectProperties	0	
FunctionalObjectProperty	0	
InverseFunctionalObjectProperty	0	
TransitiveObjectProperty	0	
SymmetricObjectProperty	0	
AsymmetricObjectProperty	0	
ReflexiveObjectProperty	0	
IrreflexiveObjectProperty	0	
ObjectPropertyDomain	10	
ObjectPropertyRange	10	
SubPropertyChainOf	0	
Data property axioms		
SubDataPropertyOf	9	
EquivalentDataProperties	0	
DisjointDataProperties	0	
FunctionalDataProperty	2	
DataPropertyDomain	9	
DataPropertyRange	10	
Individual axioms		
ClassAssertion	26	
ObjectPropertyAssertion	18	
DataPropertyAssertion	12	
NegativeObjectPropertyAssertion	0	
NegativeDataPropertyAssertion	0	
SameIndividual	0	
DifferentIndividuals	0	
Annotation axioms		
AnnotationAssertion	0	
AnnotationPropertyDomain	0	
AnnotationPropertyRangeOf	0	

Рисунок 2.3 – Скриншот панели «Ontology metrics»

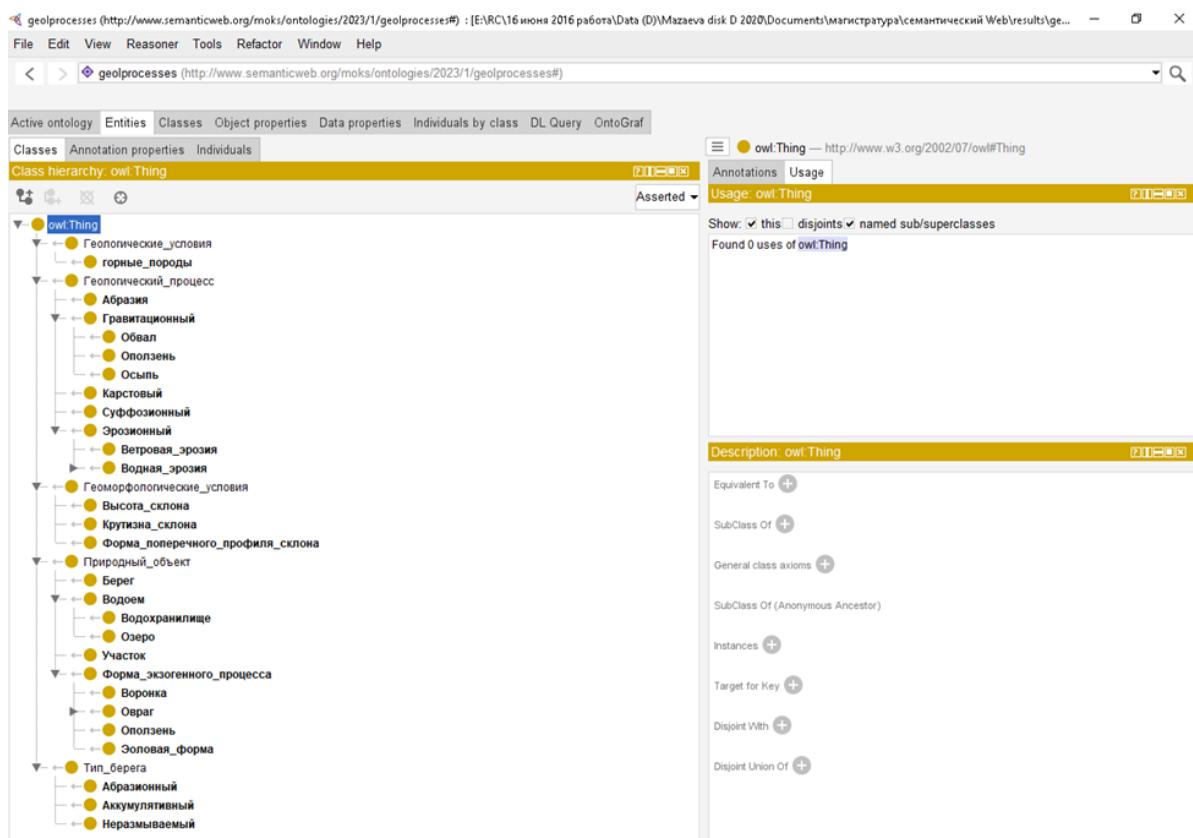


Рисунок 2.4 – Скриншот экрана с вкладками созданных классов

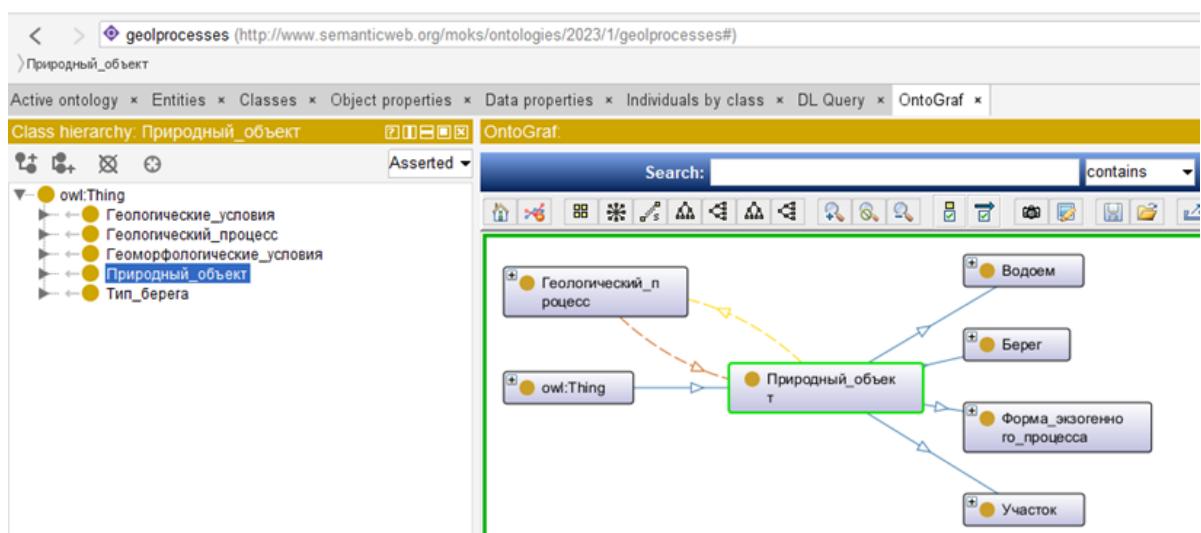


Рисунок 2.5 – Иерархия важных предметных терминов и ее отображение в OntoGraph

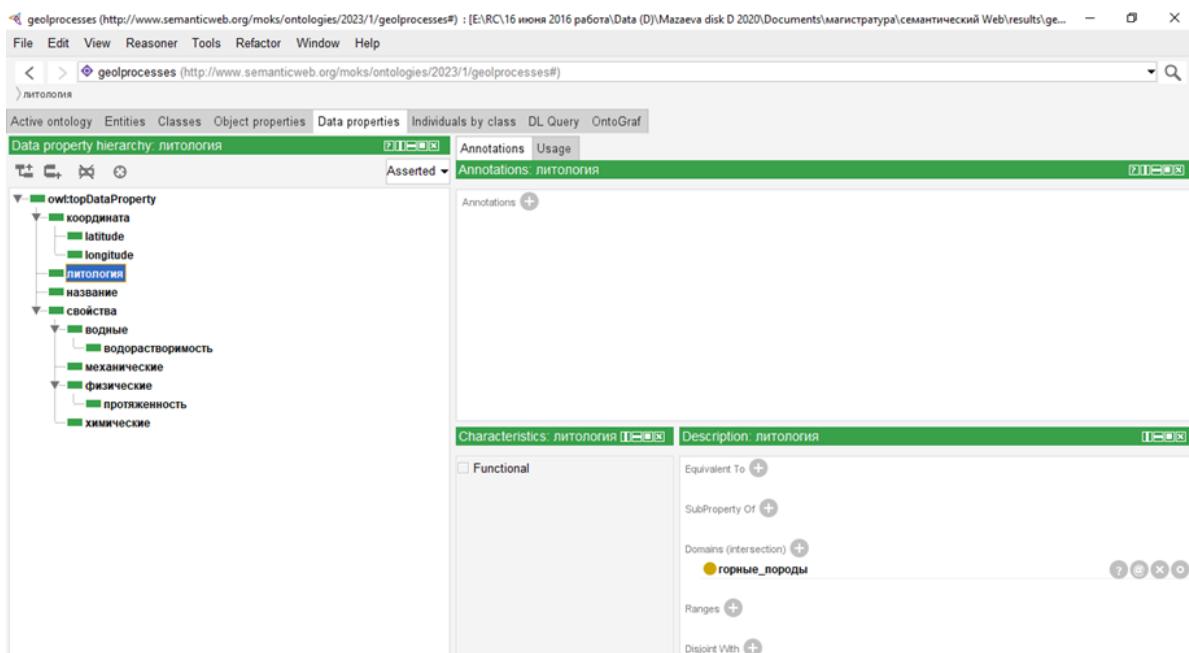


Рисунок 2.6 – Скриншот экрана панели «Data properties» с параметрами свойства для Литология

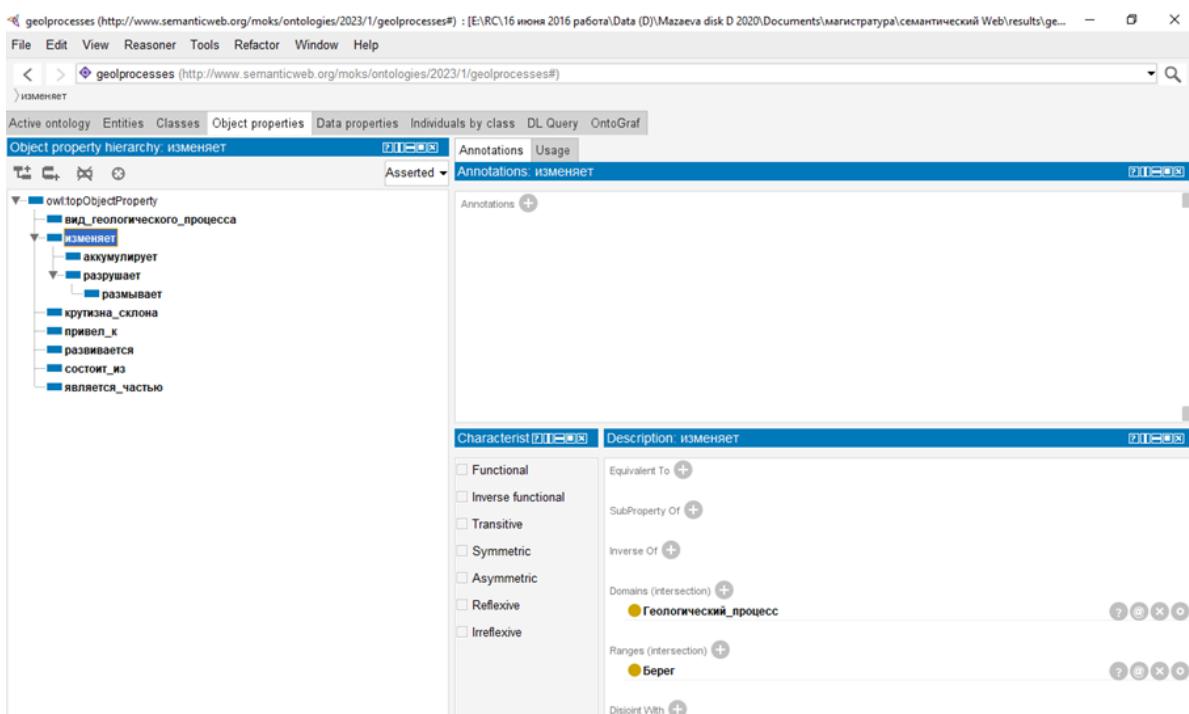


Рисунок 2.7 – Скриншот экрана панели «Object properties» с параметрами свойства для «изменяет»

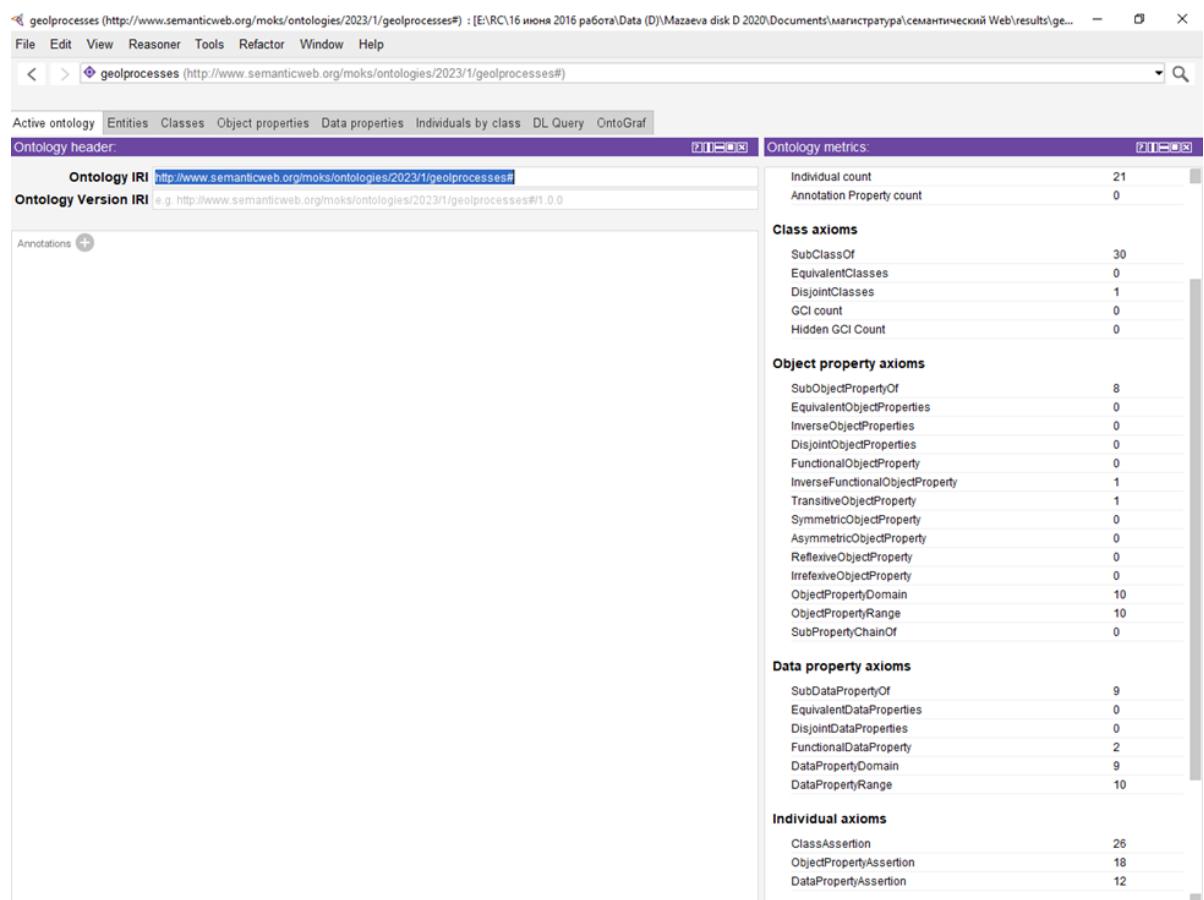


Рисунок 2.8 – Скриншот экрана панели Ontology metrics с указанием характеристик свойств

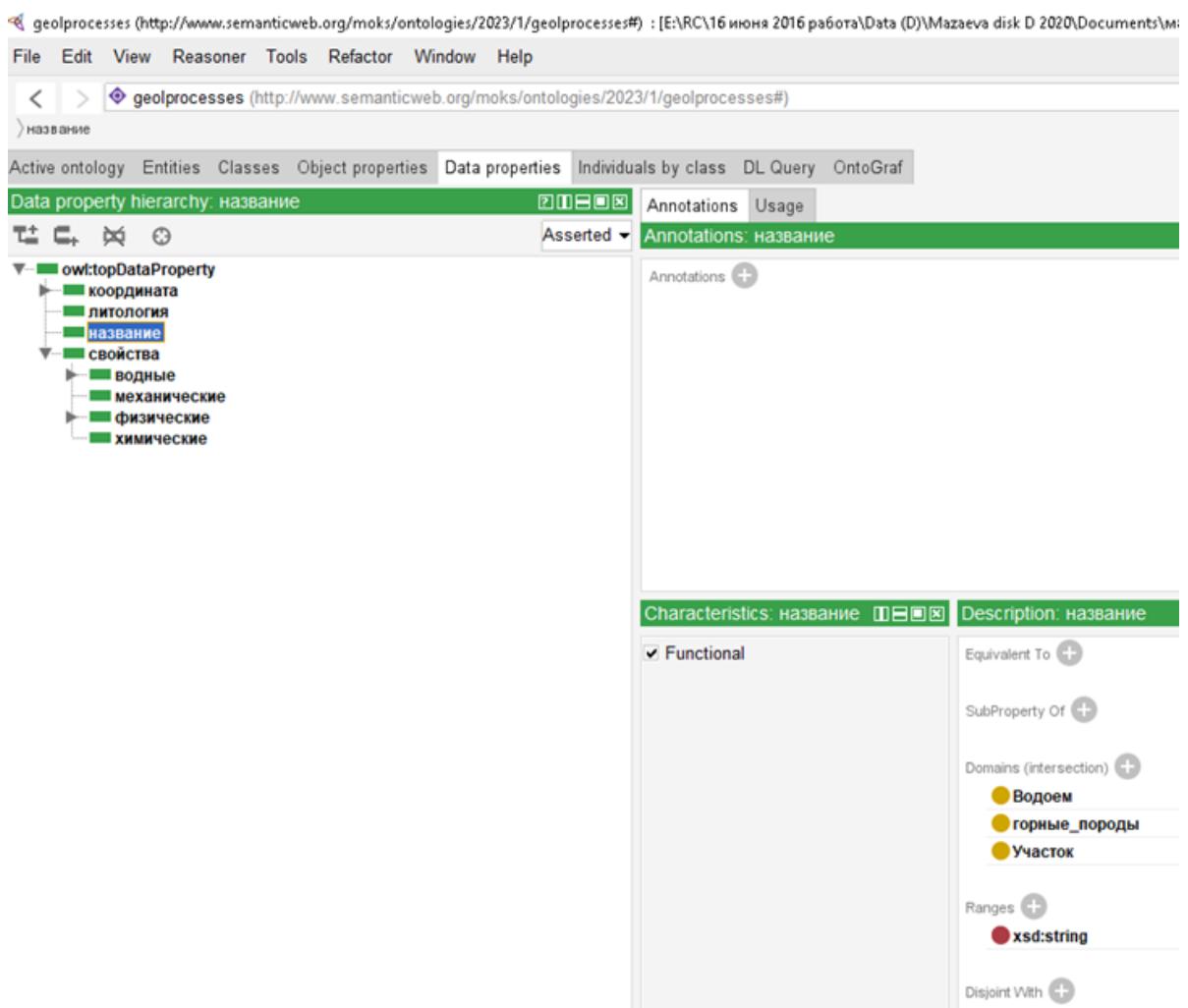


Рисунок 2.9 – Скриншот экрана панели “Data property” с примером функционального свойства «название»

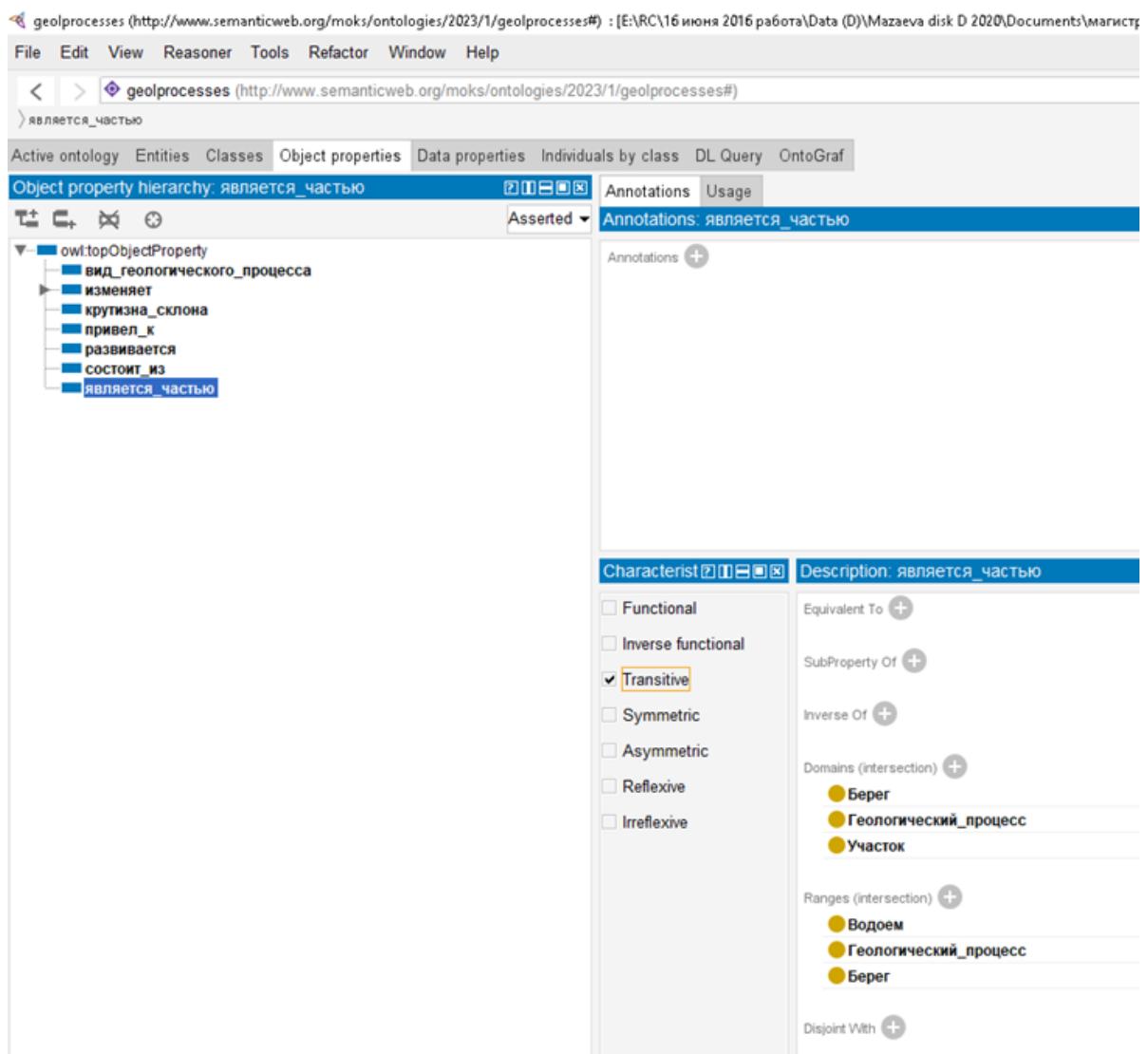


Рисунок 2.10 – Скриншот экрана панели “Object property” с примером транзитивного свойства «является частью»

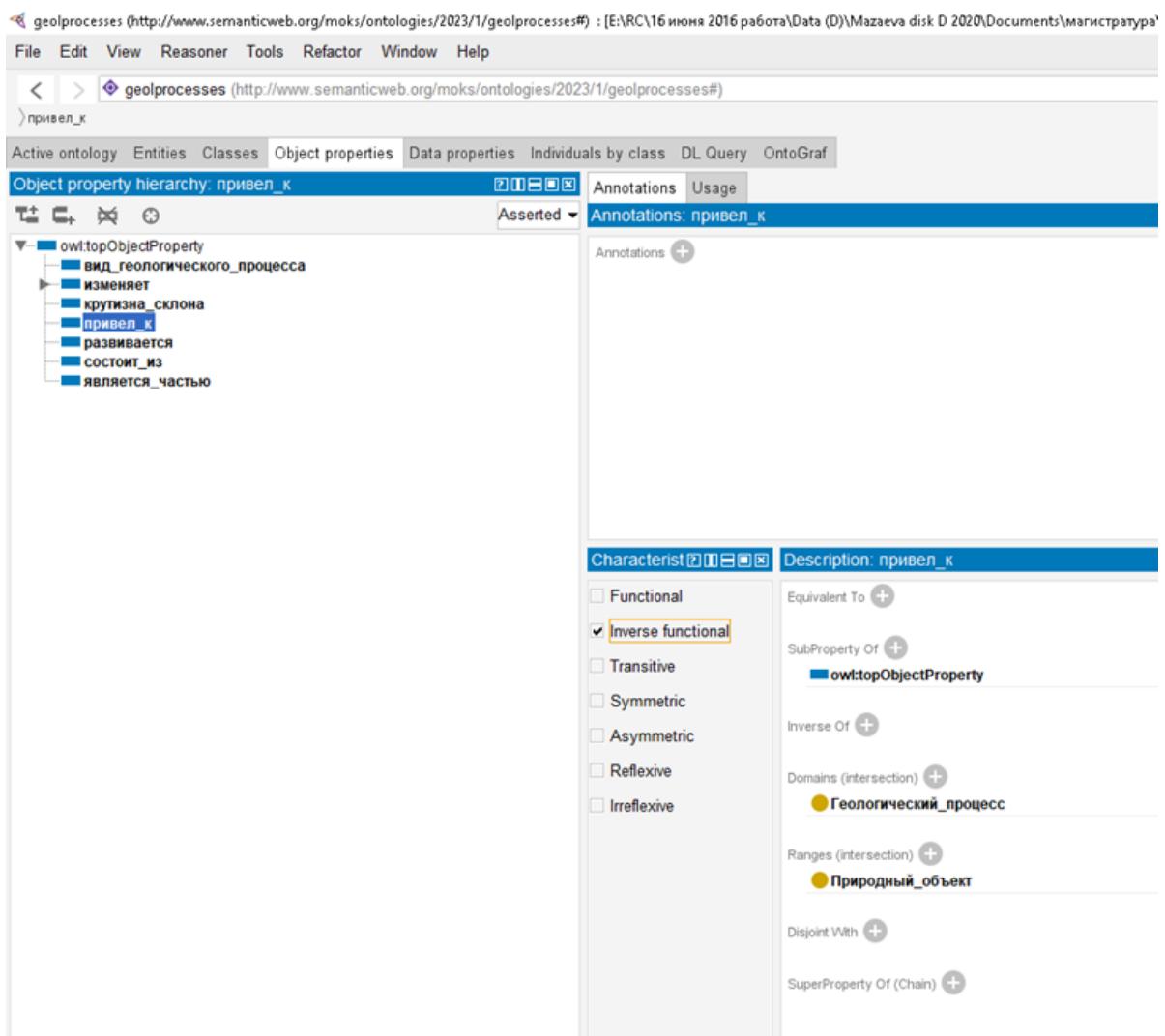


Рисунок 2.11 – Скриншот экрана панели “Object property” с примером обратно функционального свойства «привел к»

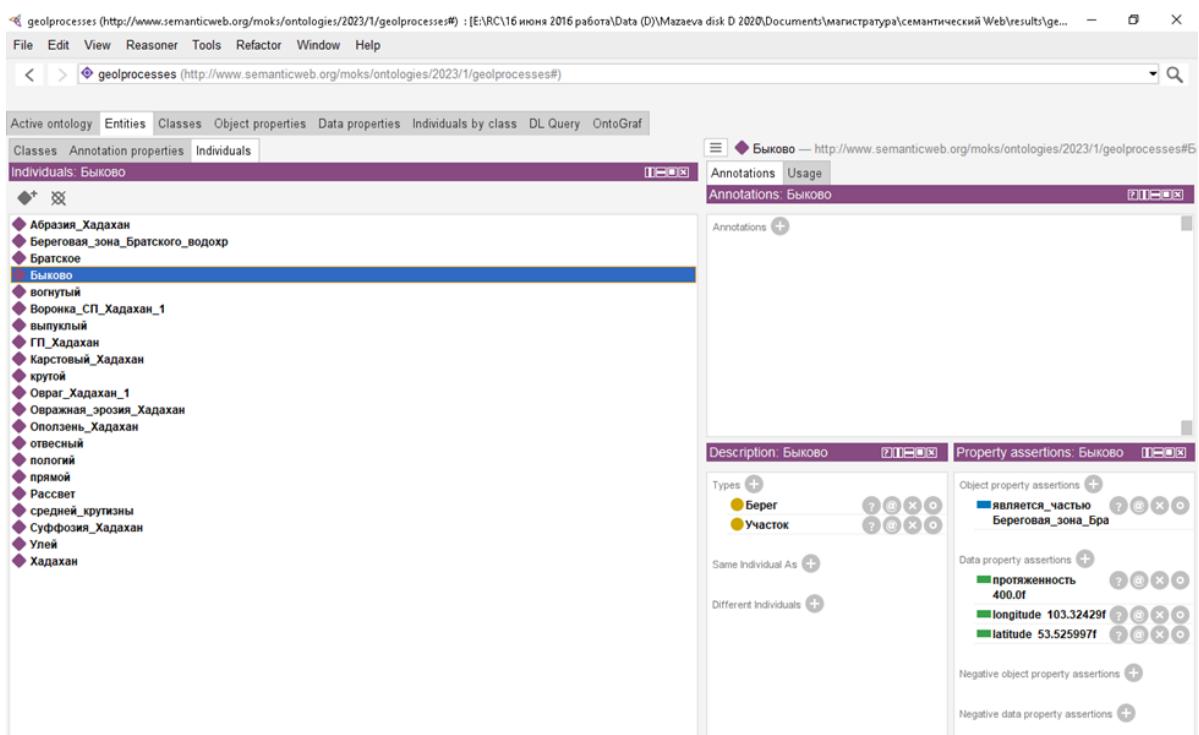


Рисунок 2.12 – Скриншот экрана с вкладкой “Individuals” для всей онтологии с описанием data property для individuals «Быково»

Из существующих онтологий в близкой предметной области была найдена онтология (URI <http://umbel.org/umbel>) [2] (<https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/vocabs/umbel>), описывающая Natural Phenomena (рисунок 2.13). В этой онтологии они относятся к SuperType и им дано определение: NaturalPhenomena skos:definition «Этот SuperType включает в себя природные явления и естественные процессы, такие как погода, выветривание, эрозия, пожары, молнии, землетрясения, тектоника и т.д. Облака и погодные процессы включены особо. Также сюда входят климатические циклы, общие природные явления (например, ураганы), которые не имеют конкретных названий, и биохимические процессы и траектории.»

Созданная онтология «Экзогенные процессы на берегах водохранилищ» может быть расширена добавлением водохранилищ, участков, форм экзогенных процессов на участках. Углублена добавлением информации по геологическим и геоморфологическим условиям развития процессов. При добавлении GPS-привязки может использоваться как геоинформационная справочная система для заинтересованных лиц и организаций, а также как база данных для ведения мониторинговых (повторных) наблюдений за экзогенными процессами на берегах водохранилищ.

Данную разработку онтологии можно отнести к комбинированной. Ее создание началось с класса «Водоем» к которому относятся подклассы природных водоемов – «Озеро» и искусственно созданных – «Водохранилище». После были созданы классы «Берег» «Участок» «Форма экзогенного процесса». Все они были объединены в класс «Природный объект» (рисунок 2.4).

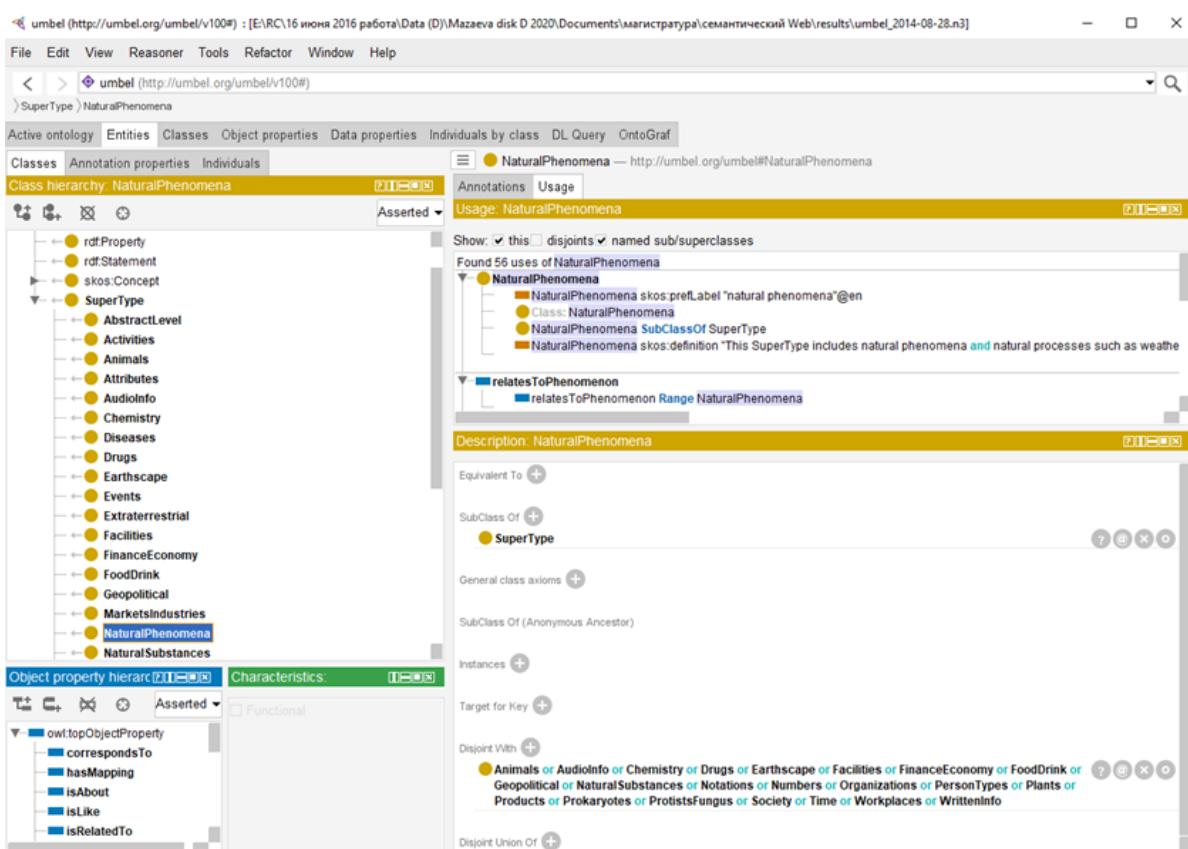


Рисунок 2.13 – Скриншот экрана существующей онтологии URI <http://umbel.org/umbel>, описывающая Natural Phenomena

2.1.0.1 Этапы моделирования

Процесс получения результатов состоит из следующих этапов:

1. Оцифровка исходного материала,
2. Представление контуров линий в Shape-файле специального формата,
3. Задание опорной кривой.
4. Передача данных в DSAS (ArcGIS), настройка модуля (шаг трансектов и т.п.).
5. Анализ результатов построения аппроксимации/интерполяции.

Подробно процесс представлен в разделе ?? и рисунке 2.14.

Самой трудоемкой задачей является оконтуривание береговой линии. Как правило, оно делается вручную по снимку (аэро-, спутниковому или ортофотоплану), привязанному к системе координат. Ручное оконтуривание делается при помощи манипулятора “мышь” или графического планшета, в результате получается векторный слой, Shape-файл, контур из которого, потом переносится в набор исходных контуров для DSAS.

В проекте предложено автоматизировать эту операцию при помощи использования современных средств обработки изображений на основе распознавания образов, наборов точек, относящихся к одному объекту. Теперь для получения набора контуров для одной области интереса пользователь сначала в ГИС QGIS выбирает эту область, запускает модуль `shore_qgis_module`, указывает предварительно созданную в проекте пустую группу. В модуле указывается интервал лет, за которые следует проводить распознавания контура, масштаб снимков спутника, адрес спутниковых данных.

Далее модуль запрашивает снимки из хранилищ спутниковых данных, загружает изображения (JPG...) на сервер через специальный интерфейс (REST), передающий двоичные данные, принятые сервером изображение раскодируется при помощи библиотеки OpenCV. Изображения сохраняются в виде набора матриц пикселей (RGB) в группе HDF5, соответствующей имени изображения и дате. После сохранения изображения клиент сервера (QGIS-модуль `shore_qgis_module`) запускает процедуру распознавания и периодически опрашивает процессы на сервере на факт их окончания.

Процесс распознавания (SegAny), реализованный на основе Segment Anything, достаточно длительный и требующий достаточно большого объема памяти и вычислительных ресурсов. Результат распознавания помещается в подгруппу группы, хранящей изображение. Результат распознавания представляется как набор масок, обозначающих распознанные объекты, охарактеризованных атрибутами. Маска - это матрица элементов 0 и 1, где 1 обозначает принадлежность пикселя к распознанному объекту, 0 - нет. Маски не содержат семантической информации, т.е. в данных не указано, что за объект был распознан. Атрибуты масок описывают координату ключевой точки объекта, опоясывающий прямоугольник, площадь маски в пикселях и др.

Для определения контура береговой линии необходимо из набора масок построить две граничащих друг с другом области, где границей выступает береговая линия. Для этого надо определить,

какие распознанные объекты являются изображениями области, занятой водой и побережьем (ShRec). Семантику объекта можно определить при помощи запроса к данным OpenstreetMap (рисунок 15). Для этого делается запрос - “какой объект находится по этой координате”. Если пришел пустой ответ, то запрашивается “Какой объект является наиболее близкий к этой точке”. В запросе указывается тип объекта - элемент рельефа. Все маски, принадлежащие побережью и прибрежной зоне объединяются в одну.

На последнем этапе распознавания нужно построить контур. Для этого используется разработанный в [] алгоритм, преобразующий набор пикселей в векторные данные. Результат записывается в Shape-файл, расположенный в группе, указанной пользователем на начальном этапе. Процедура распознавания SegmentAnything вносит неопределенность в геометрические параметры контура, поэтому пользователь должен проконтролировать результат визуально.

Полученный файл вручную переносится в ArcGIS для применения к ним процедуры DSAS, получение прогноза и интерпретации результатов.

2.2 Проектирование информационно-вычислительной инфраструктуры

2.2.1 Функциональные требования

... Необходимо обеспечить доступ к данным из разных ГИС (QGIS, ArcGIS и др.). Современные ГИС позволяют обеспечивать доступ пространственно-распределенным данным, представленным в специальных форматах, базам реляционных данных, а также виртуальных географических сервисов.

2.2.2 Вычислительные процессы в ИВИ

В спроектированном распределенном программном комплексе реализуются следующие основные процессы:

1. Накопление исходных данных о береговой зоне водохранилища из следующих источников:

Векторные данные ГИС, получаемые в результате ручной оцифровки или загрузки из топоосновы, привязанные к координатам,

Полевые исследования в виде координат точек (x, y, z) относительно реперной точки с известными координатами широты и долготы;

Спутниковые снимки, получаемые из различных интернет-источников, представленные в форматах JPG, TIFF, JP2 и т.п.;

Архивные аэрофотоснимки, требующие сканирования, предварительной обработки проекции, привязки к координатам;

Ортофотоплан, формируемый сканированием местности при помощи квадрокоптера, сшивания отдельных снимков, коррекции проекции;

2. Оцифровка исходных данных с целью получения данных типа 1;

Ручная оцифровка – исследователь сам анализирует снимок и формирует векторные данные при помощи инструментов ГИС;

Автоматизированная оцифровка – некоторые ГИС позволяют «обводить» контуры объектов, ориентируясь на начальную точку контура, указанную человеком, и анализируя разницу цветовых характеристик контура;

Автоматическая оцифровка, позволяющая в автоматическом режиме находить на изображении контуры береговой линии (без значительного участия человека);

3. Подготовка входных данных для построения моделей измерения контура и других характеристик береговой линии;

4. Вычисление прогноза, и его представление в виде данных ГИС;

5. Визуализация результатов моделирования и мониторинга;

6. Интерпретация результатов:

Неавтоматический анализ, где результаты моделирования анализируются специалистом «вручную» и вырабатываются рекомендации по безопасному использованию береговой зоны;

Автоматизированный анализ, где часть анализа результата передана экспертной системе.

На рисунке 2.14 изображены основные описанные выше процессы.

Заметим, что наличие в ИС блоков моделирования и автоматизированной оценки результатов модели формирует базу для создания *систем поддержки принятия решений*, предназначенных для автоматизации выработки *антиинтуитивных решений*.

2.2.3 Архитектура системы

Перечисленные в предыдущем разделе функции и взаимодействия между ними формируют собой элементы архитектуры распределенной системы обработки ГИС-данных (рисунок 2.15).

Система состоит из двух основных частей, обычно обозначаемых как «клиент» и «сервер». В нашем случае они взаимодействуют друг с другом по протоколу HTTP и реализуют взаимодействие через интерфейс «архитектуры REST» (Representation State Protocol). QGIS и ArcGIS - это клиентская часть, она включает также процедуры DSAS, ShRec (распознавание контура), ExpEv (экспертная оценка). QGIS также выступает клиентом для сервера изображений (формат JPG, TIFF, JP2 и др.), получаемых, в том числе, с сервера Google Maps.

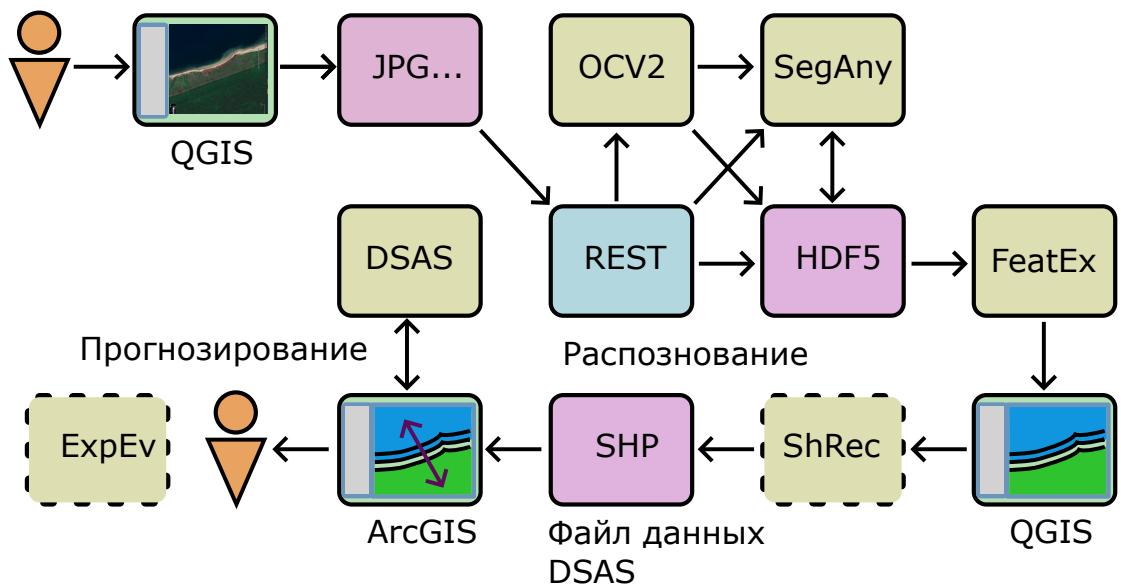


Рисунок 2.14 – Основные процессы в ИВИ поддержки исследований береговых зон водохранилищ

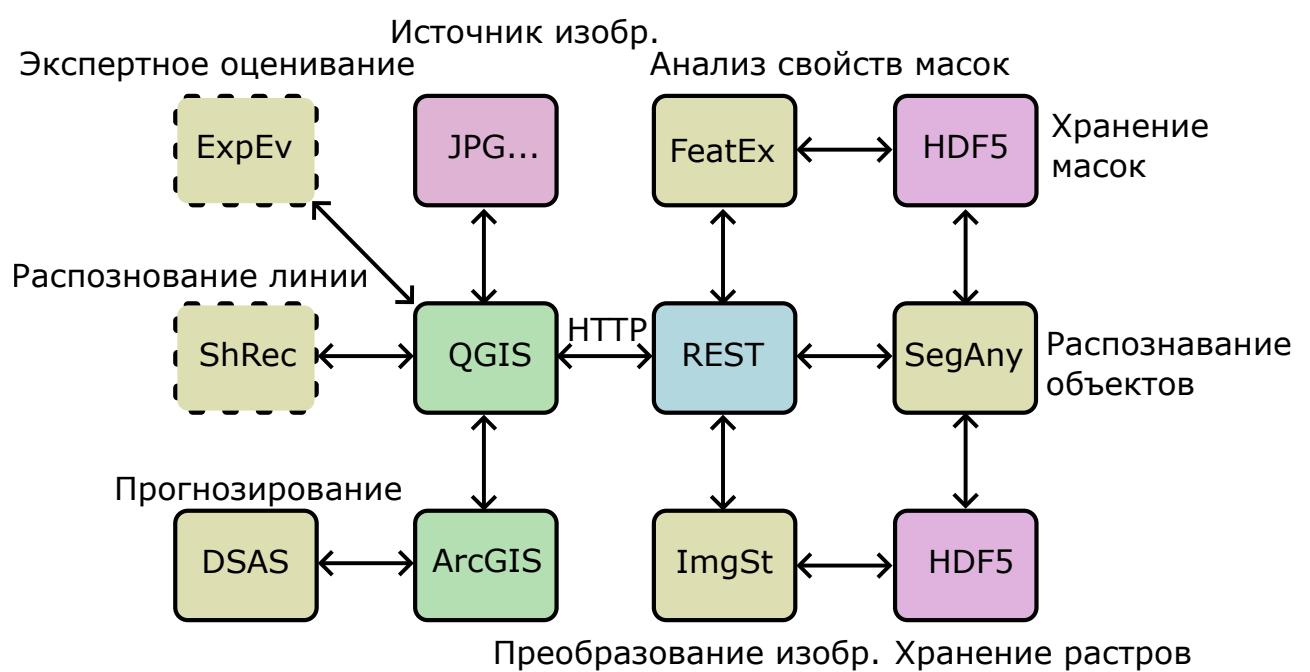


Рисунок 2.15 – Архитектура распределенной системы

Серверная часть – набор модулей, запускаемых удаленно из модуля `shore_qgis_module`, т.е. процедурами распознавания управляет полностью клиентская часть. Управление осуществляется через интерфейс REST, где в качестве объектов выступают сервисы хранения исходных изображений (OCV2 + HDF5), распознавания объектов на изображении (SegAny), анализ масок и изображений с целью получения дополнительных характеристик (FeatEx), сервис выгрузки данных с представлением в JSON (внутри REST).

2.2.4 Распознавание контура береговой линии

Как было сказано в разделе, посвященном перечню требований к ИВИ, задача распознавания контура береговой линии решается в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и отсутствия предварительно обработанной информации, пригодной для использования современными алгоритмами машинного обучения. Тем не менее согласно

2.2.4.1 Библиотека Segment Anything

SAM (Segment Anything Model) — это сегментационная модель, которая была выпущена Meta AI* весной 2023 года и быстро стала одной из самых популярных AI-моделей. SAM называют первой фундаментальной моделью в компьютерном зрении и сравнивают с ChatGPT в NLP из-за рекордно большого количества разнообразных данных, которые видела модель; а также из-за её способности к zero-shot transfer, то есть способности легко обобщаться для решения смежных задач. SAM обучается на наборе данных Segment Anything 1-Billion mask (SA-1B), который содержит набор из 11 миллионов изображений и более 1 миллиарда масок. Это делает модель очень надежной при определении границ объектов и различении различных объектов в разных доменах, даже если модель никогда раньше с такими объектами не сталкивалась. [<https://habr.com/ru/companies/sberdevices/articles/757606/>]

SAM сегментирует объекты на картинке в соответствии с промптом: им может быть точка на изображении, приблизительный прямоугольник или произвольный текст. Авторы отмечают, что при заранее вычисленном эмбеддинге изображения модель способна работать на CPU в браузере в реальном времени, а также может применяться без дообучения для задач, отличных от сегментации (например, для задач детекции границ и положения объектов — edge detection и object proposal).

Кодер изображений реализован в PyTorch, и для эффективного вывода требуется графический процессор. Кодер подсказок и декодер маски могут работать непосредственно с PyTorch или конвертироваться в ONNX и эффективно работать на ЦП или графическом процессоре на различных платформах, поддерживающих среду выполнения ONNX. (<https://segment-anything.com/>)

2.2.5 Анализ структуры объектов изображения

На данном этапе производится классификация объектов – необходимо соотнести распознанные объекты к классам «водная поверхность» и «суша». Модель SA для каждого распознанного

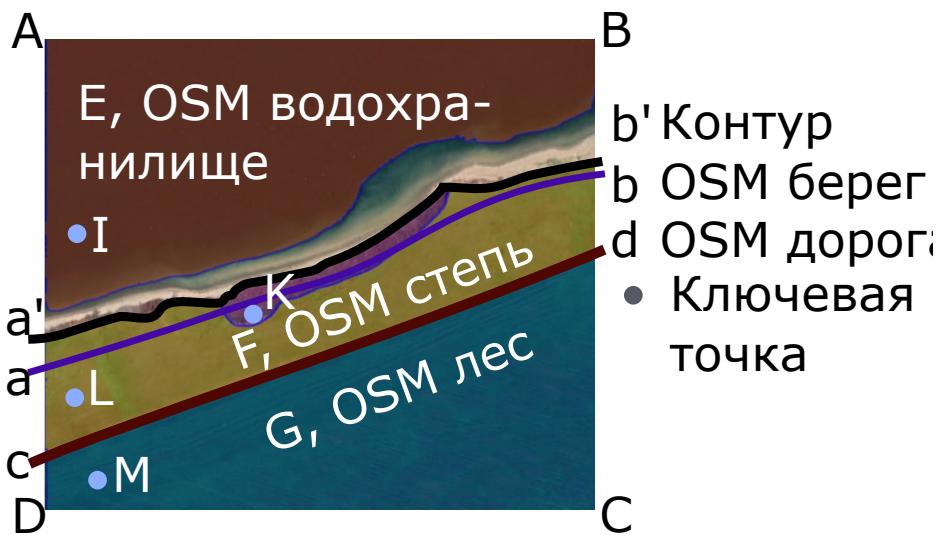


Рисунок 2.16 – К объяснению идеи распознавания береговой линии при помощи классификации масок SsegmentAnything

объекта сопоставляет так называемую ключевую точку (рисунок 2.16). В режиме распознавания «всех объектов» на изображении библиотека сканирует изображения по некоторой сетке. Каждой точкой сетки производится указание (prompt) на объект, который необходимо выделить на изображении. Если указанию соответствует новый объект, то этот объект ассоциируется с точкой. Получается, что координаты ключевой точки идентифицируют объект.

На рисунке 2.16 точки A, B, C, D обозначают периметр изображения, координаты которого используется для определения свойств объектов (например, как касающихся границы), объекты E, F, G – собственно некоторые распознанные объекты. Кружочками обозначены ключевые точки, координаты которых идентифицируют объекты. Таким образом, объекты F, G, и объект, идентифицируемый K – это берег водохранилища, содержащий нужный контур a'-b'. Кривая a-b – граница водохранилища, полученная с OpenStreetMap, ее можно использовать как «начальное приближение» или опорный объект выделения множества граничных точек объединенного контура берега. Кривая c-d (дорога вдоль границы леса) принадлежит побережью и находится дальше от ab, чем a'-b' и не может быть побережьем. Дополнительные свойства объектов, используемые для фильтрации получаются запуском процедуры совместного анализа данных масок (FeatEx) и изображения с целью порождения дополнительных атрибутов объектов, например, средний цвет объекта, расстояние границы объекта к границе изображения, общая граница с другими объектами и т.п.

Точка, таким образом, принадлежит объекту, точнее находится на маске изображения. Чтобы достаточно достоверно определить, является объект водным или сушей, можно выполнить запрос к серверу OpenStreetMap [5] следующего вида:

```

1 [out:json];
2 (
3     is_in(53.5202071,103.3259833); // Координата точки K

```

```
4     );
5     out center;
```

В ответ будет получен JSON следующего вида:

```
1  {
2      "version": 0.6,
3      "generator": "Overpass API 0.7.62.1 084b4234",
4      "osm3s": {
5          "timestamp_osm_base": "2024-06-12T10:11:58Z",
6          "timestamp_areas_base": "2024-06-12T05:25:19Z",
7          "copyright": "The data included in this document is from www.openstreetmap.org. The
8              data is made available under ODbL."
9      },
10     "elements": [
11         {
12             "type": "area",
13             "id": 3600060189,
14             "tags": {
15                 "ISO3166-1": "RU",
16                 "ISO3166-1:alpha2": "RU",
17                 "ISO3166-1:alpha3": "RUS",
18                 "ISO3166-1:numeric": "643",
19                 "according_to:RU": "yes",
20                 "according_to:UA": "no",
21                 "admin_level": "2",
22                 "alt_name:eo": "Rusujo;Ruslando",
23                 "border_type": "nation",
24                 "boundary": "administrative",
25                 "currency": "RUB",
26                 "default_language": "ru",
27                 "flag": "https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Flag_of_Russia.svg",
28                 "int_name": "Russia",
29                 "int_ref": "RU",
30                 "name": "Россия",
31                 // ....
32             },
33             // ....
34         {
35             "type": "area",
36             "id": 3601221148,
```

```

37  "tags": {
38    "addr:country": "RU",
39    "admin_level": "3",
40    "boundary": "administrative",
41    // .....
42  }
43 // .....

```

Среди перечисленных объектов нет объекта, обозначающего водный резервуар. Теперь запрос по координате точки I :

```

1 [out:json];
2 (
3   is_in(53.5202071,103.3259833); // Координата точки I
4 );
5 out center;

```

В ответ будет получен JSON следующего вида:

```

1 // .....
2 {
3   "type": "area",
4   "id": 3600167043,
5   "tags": {
6     "alt_name:cs": "Bratská vodní nádrž",
7     "gvr:code": "16010100821416200001042",
8     "name": "Братское водохранилище",
9     "name:ca": "Embassament de Bratsk",
10    "name:cs": "Bratská přehradní nádrž",
11    "name:en": "Bratsk Reservoir",
12    "name:eo": "Bratska Rezervujo",
13    "name:pl": "Zbiornik Bracki",
14    "name:ru": "Братское водохранилище",
15    "name:sk": "Bratská vodná nádrž",
16    "name:zh": "\u2e02\u2e02\u2e02\u2e02\u2e02",
17    "natural": "water",
18    "type": "multipolygon",
19    "water": "reservoir", // Тег, определяющий тип водема
20    "wikidata": "Q899803",
21    "wikipedia": "ru:Братское водохранилище"
22  }
23 },
24 // .....

```

Здесь среди выданных объектов присутствует объект, описанный как водный резервуар.

Собрав информацию по всем ключевым точкам, теперь становится возможным объединить все маски, относящиеся к водным объектам, и все маски, относящиеся к суше. Граница суши со стороны водного объекта будет являться приближением береговой линии. Контур береговой линии $a'-b'$ из набора пикселей (растра) преобразуется в векторный объект при помощи варианта алгоритма, представленного в [4].

Предлагаемый подход также применим к привязанным к координатам аэрофотоснимкам и ортофотопланам.

3 Реализация подсистем распределенной вычислительной среды

За время работы над задачей реализации ГИС береговой зоны разработаны некоторые модули подсистемы, изображенные на рисунке 2.15 непрерывными линиями.

3.0.1 Модуль управления процессом моделирования

Данный модуль реализован в виде расширения QGIS. Модули расширения реализуются согласно стандартизированной технологии включающей

- интерфейс пользователя, проектируемый при помощи QT-дизайнера,
- класс, реализующий конкретные функции.

Интерфейс пользователя, реализованный в модуле изображен на рисунке 3.1. Управление модулем производится при помощи панели в трее. Интерфейс включает четыре вкладки: выбор целевой группы слоев, в которую будет помещаться результат распознавания в виде shape-файла; Выбор тайл-слоя, откуда загружается изображение для анализа; перечень сгенерированных shape-слоев; настройка модуля, в частности, адрес сервера хранения и обработки изображений.

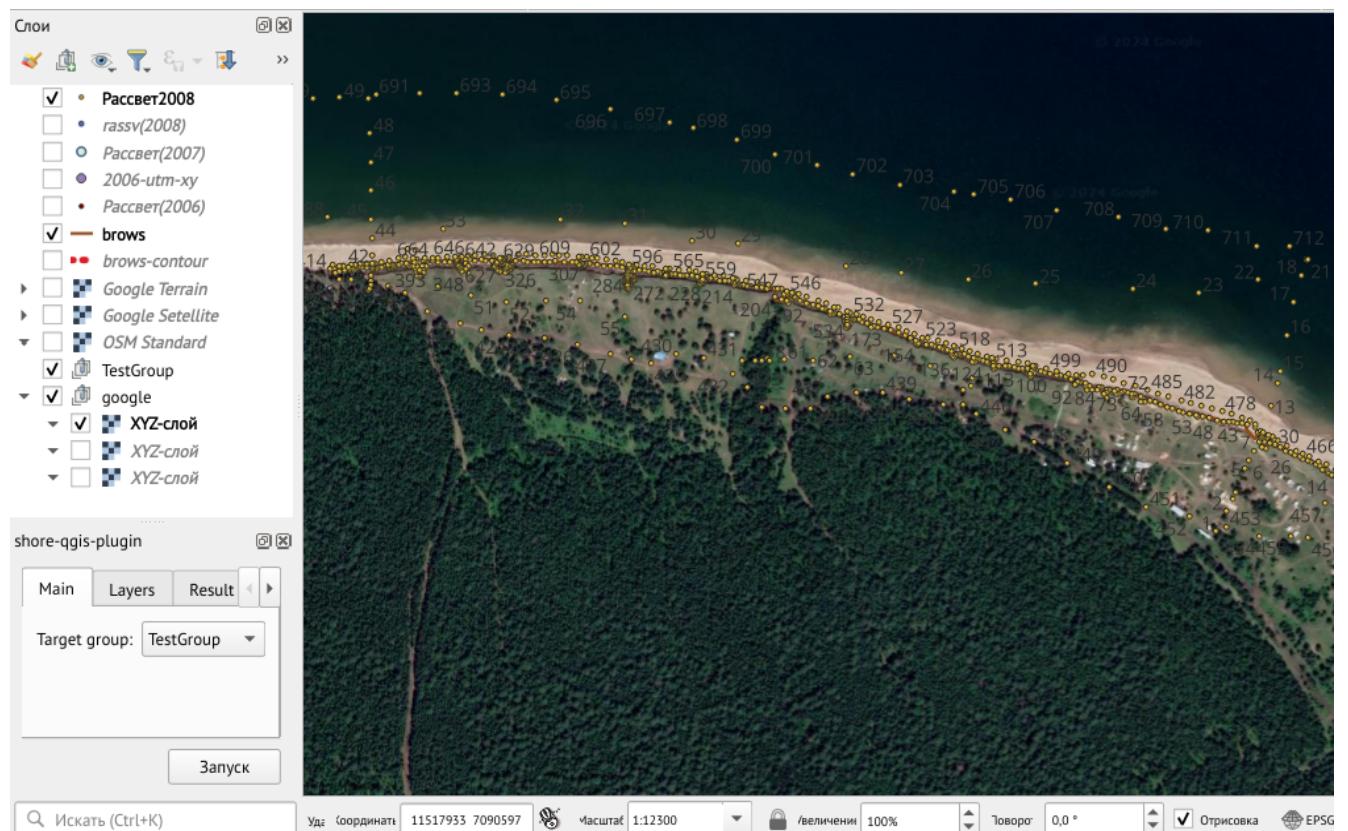


Рисунок 3.1 – Интерфейс пользователя, реализованный в модуле расширения

Задача модуля – координировать процесс обработки изображений. Взаимодействие модуля с сервером осуществляется через интерфейс (модуль) REST.

3.0.2 Интерфейс REST загрузки и обработки изображений

Приведем пример реализации интерфейсов REST для загрузки изображений и управления процессом распознавания.

REST (Representational state transfer) – это стиль архитектуры программного обеспечения для распределенных систем, таких как World Wide Web, который, как правило, используется для построения веб-служб. Термин REST был введен в 2000 году Роем Филдингом, одним из авторов HTTP-протокола. Системы, поддерживающие REST, называются RESTful-системами.

В общем случае REST является очень простым интерфейсом управления информацией без использования каких-то дополнительных внутренних прослоек. Каждая единица информации однозначно определяется глобальным идентификатором, таким как URL. Каждая URL в свою очередь имеет строго заданный формат.

Задача интерфейса REST - принимать бинарный файл изображения, преобразовать его в матрицы слоев, записать в базу данных на сервере, выдать глобальный идентификатор, при помощи которого далее идентифицируется сохраненные данные изображения, запуск других подсистем. Вот реализация REST-интерфейса загрузки и сохранения изображений.

```
1 img = Service(name='imgstore',
2                 path='/sa-1.0/image/{img_name}',
3                 description="Image collection")
4
5 @img.put()
6 def put_image(request):
7     """Принимает бинарные данные картинки,
8     возвращает JSON с UUID сохраненного изображения
9     """
10    name = request.matchdict['img_name']
11
12    imgg, ds = add_image(name, request.body)
13
14    uui = uuidgen()
15    uuis = str(uui)
16    pth = ds.name
17    STORAGE, INGRP, UUUIDGRP = storage_begin()
18    if name in UUUIDGRP:
19        ouuis = gs(UUUIDGRP[name])
20        del UUUIDGRP[name]
21        del UUUIDGRP[ouuis]
```

```

22     # Отображение UUID <-> имя изображения
23     UUIDGRP.create_dataset(name, data=uuis)
24     UUIDGRP.create_dataset(uuis, data=name)
25     STORAGE, INGRP, UUIDGRP = storage_end()
26     return {
27         "error": None,
28         "ok": True,
29         "uuid": uuis,
30         "content": pth,
31         "name": name,
32         "namepath": imgg.name
33     }
34
35 def add_image(name, content, replace=True):
36     """Добавление изображения в БД"""
37     nparr = np.frombuffer(content, np.uint8)
38     image = cv2.imdecode(nparr, cv2.IMREAD_COLOR)
39     image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
40     # Открытие БД
41     STORAGE, INGRP, UUIDGRP = storage_begin()
42     if name in INGRP:
43         del INGRP[name]
44     imgg = INGRP.create_group(name)
45     ds = imgg.create_dataset('content',
46                             data=image, compression="lzf")
47     log.info("Image '{}' loaded".format(name))
48     # Закрытие БД
49     STORAGE, INGRP, UUIDGRP = storage_end()
50     return (imgg, ds)

```

Загрузка изображения делается при помощи запроса PUT с адресом `https://<адрес сервера>:6543/sa-1.0/image/<имя картинки>`. В тело запроса PUT помещается содержимое изображения. В качестве результата возвращается JSON-ответ, содержащий в поле «uuid» идентификатор сохраненного изображения. Список сохраненных изображений получается запуском запроса GET к этому же адресу без указания имени изображения. Возвращается JSON со списком отображений UUID-<имя файла изображения>. Полученный идентификатор используется для обозначения изображения, подвергающегося процедуре распознавания:

```

1  sactrl = Service(name='segment-any-control',
2                     path='/sa-1.0/sa/{img_uuid}/{cmd}',
3                     description="Functions of SA on a image\
4                                     identified by uuid")

```

```

5  @sactrl.post()
6  def start_recognition(request):
7      # Импорт процедур анализа, выполняющихся в
8      # других процессах
9      from ..tasks import (sa_start,
10                          ANSWERS, rc_set, rc_get, rc_delete,
11                          rc_update)
12
13      uuids = request.matchdict['img_uuid']
14      cmd = request.matchdict['cmd']
15      # cmd = 'start'
16
17      STORAGE, INGRP, UUIDGRP = storage_begin()
18      # идентификатор изображения существует?
19      isimg = uuids in UUIDGRP
20      STORAGE, INGRP, UUIDGRP = storage_end()
21
22      rd = {"error": False, "ok": True, "cmd": cmd}
23
24      if cmd == "flush":
25          ANSWERS.flushdb()
26          return rd
27
28      if not isimg:
29          return {
30              "error": "not found",
31              "ok": False,
32              "uuid": uuids,
33              "cmd": cmd,
34              "processuuid": None
35          }
36
37      # Команда запуска процесса распознавания
38      if cmd == "start":
39          prevrc = rc_get(uuids)
40          if prevrc is not None:
41              return {
42                  "error": "already running",
43                  "ok": False,
44                  "uuid": uuids,
45                  "cmd": cmd,
46                  "processuuid": prevrc.get("processuuid",

```

```

46
        None),
47    "ready": prevrc.get("ready", False)
48 }
49
50 def prevrc
51     rc = {"uuid": uuids, "ready": False}
52     rc_set(uuids, rc)
53     arc = sa_start.delay(uuids)
54     puuid = str(arc.id)
55
56
57
58     def _u(r):
59         r["processuuid"] = puuid
60
61
62         rc = rc_update(uuids, _u)
63         print(rc_get(uuids))
64         puuid = rd["processuuid"] = puuid
65
66 # Команда проверки завершения процесса
67
68     elif cmd == "status":
69         rd["ready"] = False
70
71
72     def _a(v, rr):
73         rd["ready"] = v
74         rd["result"] = rr.get("result", None)
75
76
77         rc = rc_get(uuids, "ready", _a)
78         if rc is None:
79             return {
80                 "error": "no process",
81                 "ok": False,
82                 "uuid": uuids,
83                 "cmd": cmd,
84                 "ready": None
85             }
86
87
88         rd["processuuid"] = rc["processuuid"]
89
90 # Команда завершения процесса и удаления его данных
91
92     elif cmd == "finalize":
93         rcg = rc_get(uuids)
94         if rcg is None:
95             return {
96                 "error": "not running",
97                 "ok": False,
98             }
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
629
630
631
632
633
634
635
636
637
637
638
639
639
640
641
642
643
644
645
645
646
647
647
648
649
649
650
651
652
653
654
655
655
656
657
657
658
659
659
660
661
662
663
664
665
665
666
667
667
668
669
669
670
671
672
673
674
675
675
676
677
677
678
679
679
680
681
682
683
684
685
685
686
687
687
688
689
689
690
691
692
693
694
695
695
696
697
697
698
699
699
700
701
702
703
704
705
705
706
707
707
708
709
709
710
711
712
713
714
715
715
716
717
717
718
719
719
720
721
722
723
724
725
725
726
727
727
728
729
729
730
731
732
733
734
735
735
736
737
737
738
739
739
740
741
742
743
744
745
745
746
747
747
748
749
749
750
751
752
753
754
755
755
756
757
757
758
759
759
760
761
762
763
764
765
765
766
767
767
768
769
769
770
771
772
773
774
775
775
776
777
777
778
779
779
780
781
782
783
784
785
785
786
787
787
788
789
789
790
791
792
793
794
795
795
796
797
797
798
799
799
800
801
802
803
804
805
805
806
807
807
808
809
809
810
811
812
813
814
815
815
816
817
817
818
819
819
820
821
822
823
824
825
825
826
827
827
828
829
829
830
831
832
833
834
835
835
836
837
837
838
839
839
840
841
842
843
844
845
845
846
847
847
848
849
849
850
851
852
853
854
855
855
856
857
857
858
859
859
860
861
862
863
864
865
865
866
867
867
868
869
869
870
871
872
873
874
875
875
876
877
877
878
879
879
880
881
882
883
884
885
885
886
887
887
888
889
889
890
891
892
893
894
895
895
896
897
897
898
899
899
900
901
902
903
904
905
905
906
907
907
908
909
909
910
911
912
913
914
915
915
916
917
917
918
919
919
920
921
922
923
924
925
925
926
927
927
928
929
929
930
931
932
933
934
935
935
936
937
937
938
939
939
940
941
942
943
944
945
945
946
947
947
948
949
949
950
951
952
953
954
955
955
956
957
957
958
959
959
960
961
962
963
964
965
965
966
967
967
968
969
969
970
971
972
973
974
975
975
976
977
977
978
979
979
980
981
982
983
984
985
985
986
987
987
988
989
989
990
991
992
993
994
995
995
996
997
998
999
999
1000
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1005
1006
1007
1007
1008
1009
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1015
1016
1017
1017
1018
1019
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1025
1026
1027
1027
1028
1029
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1035
1036
1037
1037
1038
1039
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1045
1046
1047
1047
1048
1049
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1055
1056
1057
1057
1058
1059
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1065
1066
1067
1067
1068
1069
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1075
1076
1077
1077
1078
1079
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1085
1086
1087
1087
1088
1089
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1095
1096
1097
1097
1098
1099
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1105
1106
1107
1107
1108
1109
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1115
1116
1117
1117
1118
1119
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1125
1126
1127
1127
1128
1129
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1135
1136
1137
1137
1138
1139
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1145
1146
1147
1147
1148
1149
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1155
1156
1157
1157
1158
1159
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1165
1166
1167
1167
1168
1169
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1175
1176
1177
1177
1178
1179
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1185
1186
1187
1187
1188
1189
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1195
1196
1197
1197
1198
1199
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1205
1206
1207
1207
1208
1209
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1215
1216
1217
1217
1218
1219
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1225
1226
1227
1227
1228
1229
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1235
1236
1237
1237
1238
1239
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1245
1246
1247
1247
1248
1249
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1255
1256
1257
1257
1258
1259
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1265
1266
1267
1267
1268
1269
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1275
1276
1277
1277
1278
1279
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1285
1286
1287
1287
1288
1289
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1295
1296
1297
1297
1298
1299
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1305
1306
1307
1307
1308
1309
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1315
1316
1317
1317
1318
1319
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1325
1326
1327
1327
1328
1329
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1335
1336
1337
1337
1338
1339
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1345
1346
1347
1347
1348
1349
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1355
1356
1357
1357
1358
1359
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1365
1366
1367
1367
1368
1369
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1375
1376
1377
1377
1378
1379
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1385
1386
1387
1387
1388
1389
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1395
1396
1397
1397
1398
1399
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1405
1406
1407
1407
1408
1409
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1415
1416
1417
1417
1418
1419
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1425
1426
1427
1427
1428
1429
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1435
1436
1437
1437
1438
1439
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1445
1446
1447
1447
1448
1449
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1455
1456
1457
1457
1458
1459
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1465
1466
1467
1467
1468
1469
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1475
1476
1477
1477
1478
1479
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1485
1486
1487
1487
1488
1489
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1495
1496
1497
1497
1498
1499
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1505
1506
1507
1507
1508
1509
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1515
1516
1517
1517
1518
1519
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1525
1526
1527
1527
1528
1529
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1535
1536
1537
1537
1538
1539
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1545
1546
1547
1547
1548
1549
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1555
1556
1557
1557
1558
1559
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1565
1566
1567
1567
1568
1569
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1575
1576
1577
1577
1578
1579
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1585
1586
1587
1587
1588
1589
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1595
1596
1597
1597
1598
1599
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1605
1606
1607
1607
1608
1609
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1615
1616
1617
1617
1618
1619
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1625
1626
1627
1627
1628
1629
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1635
1636
1637
1637
1638
1639
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1645
1646
1647
1647
1648
1649
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1655
1656
1657
1657
1658
1659
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1665
1666
1667
1667
1668
1669
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1675
1676
1677
1677
1678
1679
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1685
1686
1687
1687
1688
1689
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1695
1696
1697
1697
1698
1699
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1705
1706
1707
1707
1708
1709
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1715
1716
1717
1717
1718
1719
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1725
1726
1727
1727
1728
1729
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1735
1736
1737
1737
1738
1739
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1745
1746
1747
1747
1748
1749
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1755
1756
1757
1757
1758
1759
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1765
1766
1767
1767
1768
1769
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1775
1776
1777
1777
1778
1779
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1785
1786
1787
1787
1788
1789
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1795
1796
1797
1797
1798
1799
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1805
1806
1807
1807
1808
1809
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1815
1816
1817
1817
1818
1819
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1825
1826
1827
1827
1828
1829
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1835
1836
1837
1837
1838
1839
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1845
1846
1847
1847
1848
1849
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1855
1856
1857
1857
1858
1859
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1865
1866
1867
1867
1868
1869
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1875
1876
1877
1877
1878
1879
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1885
1886
1887
1887
1888
1889
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1895
1896
1897
1897
1898
1899
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1905
1906
1907
1907
1908
1909
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1915
1916
1917
1917
1918
1919
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1925
1926
1927
1927
1928
1929
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1935
1936
1937
1937
1938
1939
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1945
1946
1947
1947
1948
1949
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1955
1956
1957
1957
1958
1959
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1965
1966
1967
1967
1968
1969
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1975
1976
1977
1977
1978
1979
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1985
1986
1987
1987
1988
1989
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1995
1996
1997
1997
1998
1999
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2005
2006
2007
2007
200
```

```

87         "uuid": uuids,
88         "cmd": cmd,
89         "ready": None
90     }
91     rc_delete(uuids)
92     rd.update({"ready": rcg["ready"],
93                 "processuuid": rcg["processuuid"]})
94     # Команда отмены процесса
95     elif cmd == "discard":
96         rcg = rc_get(uuids)
97         if rcg is not None:
98             return {
99                 "error": "still running",
100                "description":
101                  "cannot stop SA, wait its finishing. \
102                      Use status command.",
103                  "ok": False,
104                  "uuid": uuids,
105                  "cmd": cmd,
106                  "ready": None
107             }
108         STORAGE, INGRP, UUIDGRP = storage_begin()
109         name = gs(UUIDGRP[uuids])
110         imgg = INGRP[name]
111         if "masks" in imgg:
112             del imgg["masks"]
113             rc = "removed"
114         else:
115             rc = "no mask"
116         STORAGE, INGRP, UUIDGRP = storage_end()
117         rd.update({
118             "ready": None,
119             "processuuid": None,
120             "description": rc
121         })
122
123     return rd

```

Запуск процесса распознавания осуществляется при помощи запроса POST следующего формата - `http://<адрес сервера>:6543/sa-1.0/sa/<идентификатор изображения>/<команда>`. Командой выступает ключевое слово - одно из четырех:

start – запуск нового процесса,

status – запрос состояния распознавания,

finalize – завершение исполнившегося процесса,

flush – отмена процесса.

Требующие большие вычислительные ресурсы процессы выполняются в отдельных процессах сервера или на специализированных серверах, снабженных аппаратной поддержкой вычислений (CUDA и ему подобным). Реализация запуска таких задач реализована при помощи библиотеки `celery` языка программирования Python.

3.0.3 Хранение изображений

Загруженное через REST-интерфейс изображение декодируется и преобразуется в набор матриц (тензор), соответствующий слоям Red-Green-Blue-Alpha. Преобразование осуществляется перед выполнением сохранения. Такой подход позволяет на этапе передачи изображения на обработку загружать данные непосредственно из хранилища в модули обработки в виде объектов `numpy`. Идея реализована при помощи файлов формата HDF5.

3.0.3.1 Стандарт HDF5: формат и инструментарий

Иерархический формат данных версии 5 (HDF5) – это формат файлов с открытым исходным кодом, который поддерживает большие, сложные и неоднородные данные. HDF5 использует структуру типа ”файловый каталог” которая позволяет организовывать данные внутри файла множеством способов, как это делается в папках на вашем компьютере. Формат HDF5 также позволяет встраивать метаданные, делая его самоопределяющимся.

HDF5 — современная версия формата. Получил премию R&D100 от журнала «R&D Magazine» в 2002 году []. Содержит иерархию из двух основных типов объектов:

Datasets — наборы данных, многомерные массивы объектов одного типа

Groups — группы, являются контейнерами для наборов данных и других групп

Содержимое файлов HDF5 организовано подобно иерархической файловой системе, и для доступа к данным применяются пути, сходные с POSIX-синтаксисом, например, /path/to/resource. Метаданные хранятся в виде набора именованных атрибутов объектов (рисунок ??).

3.0.3.2 Хранение изображений и масок

Изображения, преобразованные в тензоры, сохраняются в корневой узел хранения изображений в виде группы, поименованной именем файла изображения. Маски, распознанные на изображении помещаются в подгруппу «masks». Тензор изображения помещается в узел «content».

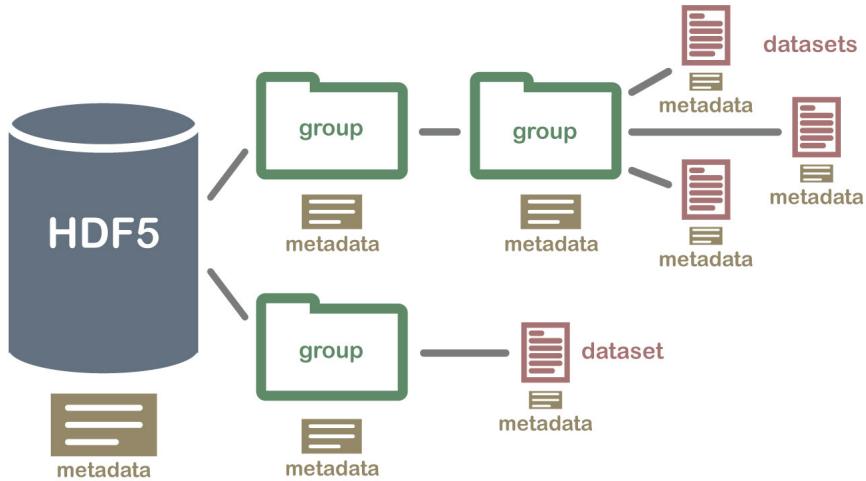


Рисунок 3.2 – Вариант хранения информации в формате HDF5

Сгенерированный идентификатор (UUID) помещается в атрибут группы изображения, а также в специальный узел отображения идентификаторов в имена изображений и обратно. Тензоры изображений сжимаются алгоритмом LZW, использование которого позволяет загружать тензор прямым проходом по данным. Маски также содержат узел «content», к которому привязаны атрибуты, ассоциированными с маской.

Доступ к данным изображения, масок, атрибутам и т.п. реализован также в интерфейсе REST. В частности, маски выгружаются по порядковым номерам и идентификаторам соответствующего изображения.

3.1 Тестирование

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа посвящена проекту развития научного направления Лаборатории инженерной геологии и геоэкологии в аспекте повышения уровня информатизации и обработки данных полевых исследований. В работе решены следующие задачи:

1. Проведена формализация предметной области инженерной геологии, относящейся к исследованиям экзогенных геологических процессов на берегах крупного внутреннего водоёма, представлена концептуальная модель в виде онтологии,
2. Разработана информационно-вычислительной инфраструктура поддержки прогнозирования состояния береговой зоны на основе геоинформационной системы и распределенной вычислительной среды,
3. Предложен вариант архитектуры вычислительной среды, реализованы некоторые её подсистемы с использованием современных средств автоматизации распознавания объектов на изображениях,
4. Для реализованных подсистем предложены модели данных, предназначенных для хранения информации в процессе её обработки,
5. Продемонстрирована работоспособность предложенной среды на простом примере прогнозирования.

Рассмотренные в диссертации вопросы преследуют целью формирование вычислительных ресурсов поддержки принятия решений по результатам мониторинга, оценки и прогноза опасных геологических процессов. Дальнейшее направление научных исследований и опытно-конструкторских работ имеет смысл продолжать по некоторым основным направлениям:

- Завершение реализации информационно-вычислительный среды,
- Наполнение информационных ресурсов архивными данными и данными современного мониторинга объектов исследования,
- Совершенствование методов прогнозирования состояния береговой зоны за счет реализации современного уровня информационного обеспечения,
- Разработка экспертной системы оценки результатов моделирования с целью формирования рекомендаций по использованию конкретных участков исследуемой береговой зоны.

Преимущества рассмотренного подхода – это а) отсутствие трудоемкого этапа подготовки данных для обучения НС, б) распознавание контура представляется (программируется) в виде правил, что дает возможность управлять процессом распознавания, в частности “сцеплять” объекты или контуры с разных изображений; в) SA, ввиду обученности на большом количестве изображений

не привязана к свойствам конкретных изображений (размеру, цветовой гамме, повороту и т.д.), что позволяет г) реализовывать (в перспективе) процедуры последовательного уточнения характеристик береговой линии, переходя к изображениям более высокого разрешения.

Разработанная платформа и модели обеспечат более эффективный способ оцифровки данных с изображений, результаты будут востребованы во многих проектных, изыскательских и научно-исследовательских организациях для проведения комплексных оценок, прогнозирования и принятия решений по управлению различными объектами береговой зоной для обеспечения их безопасного и рационального использования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Thomas R. Gruber, Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing?, International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, No. 5–6, 1995, Pp. 907-928, ISSN 1071-5819, doi:10.1006/ijhc.1995.1081, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581985710816> (дата доступа: 11.05.2024)
2. Dang K. B., Vu K. C., Nguyen H., Nguyen D. A., *et al.*. Application of deep learning models to detect coastlines and shorelines. // Journal of Environmental Management, 2022, No. 320, 115732.
3. Seale C., Redfern T., Chatfield P., Luo C., Dempsey K. Coastline detection in satellite imagery: A deep learning approach on new benchmark data // Remote Sensing of Environment, 2022, No. 278, 113044.
4. Aghdami-Nia M., Shah-Hosseini R., Rostami A., Homayouni S. Automatic coastline extraction through enhanced sea-land segmentation by modifying Standard U-Net // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2022, No. 109, 102785.
5. Сайт проекта OpenStreetMap – URL:<https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 15.05.2024)
6. Геоинформационные системы: что это за технология и как работает – URL:<https://trends.rbc.ru/trends/industry/61f8fb399a7947618807cc41> <https://gis-lab.info/qa/saga-intro.html>
7. Официальный сайт редактора онтологий Protégé. – URL:<https://protege.stanford.edu/>
8. Официальный сайт проекта Linked Open Vocabularies (LOV). URL:<http://lov.okfn.org/dataset/lov/>
9. Макаров В. З. и др. Опыт создания геоинформационных систем на географическом факультете Саратовского университета // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2008. – Т. 8. – №. 1. – С. 7-15.
10. Овчинников Г. И., Павлов С. Х., Тржцинский Ю. Б. Изменение геологической среды в зонах влияния Ангаро-Енисейских водохранилищ. Новосибирск: Наука, 1999. 254 с.
11. Овчинников Г. И. Динамика береговой зоны ангарских водохранилищ : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.25. Иркутск, 2003. 50 с.
12. Рагозин А.Л., Бурова В.Н., Егоров А.Я. Способ локального экспресс-прогноза переработки берегов водохранилищ. – 1999.

13. Качугин Е. Г. Инженерно-геологические исследования и прогнозы переработки берегов водохранилищ. - В кн.: Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ. - М.: Госгеолтехиздат, 1959, - С. 3-89.
14. Кондратьев Н.Е. Прогноз переформирования берегов водохранилищ под действием ветровой волны. - Труды Гос. гидролог, ин-та. - вып. 58(110), 1956, - С. 12-19.
15. Золотарев Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ. - Труды 7-го Байкальского науч. координац. совещ. по изучению водохранилищ. -М., 1961.-т. 1, -С. 50-63.
16. Розовский Л. Б. О прогнозе переработки берегов водохранилищ по аналогии. - М.: "Наука 1961, - С. 45-57.
17. Епишин В.К., Экзарьян В.Н. Прогноз процесса формирования берегов водохранилищ. - М.: Энергия, 1979, - С. 95-111.
18. Гречищев Е К Метод расчета ширины зоны размыва берегов на примере Братского водохранилища Иркутск Кн изд-во» 1961 91 с.
19. Качугин Е. Г. Инженерно-геологические исследования и прогноз переработки берегов водохранилищ. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 89 с.
20. Кондратьев Н. Е. Расчеты берегов переформирований на водохранилищах (практическое руководство). Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 64 с.
21. Рагозин А. Л., Бурова В. Н. Метод прогнозной экспресс-оценки интенсивной переработки берегов водохранилищ С Гидротехническое строительство. 1993. № 10. С. 20—26.
22. Рекомендации по инженерным изысканиям для прогноза переработки берегов. М.: Стройиздат, 1986. 56 с.
23. Розовский Л. В., Зелинский И. П. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Одесса, 1975. 115 с.
24. Иванов И. П., Тржцинский Ю. Б. Инженерная геодинамика // С-Пб.: Наука. – 2001. 411 с.
25. Козырева Е. А., Бабичева В. А., Мазаева О. А. Трансформация геологической среды в зоне влияния водохранилищ Ангарского каскада ГЭС //Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2018. – Т. 25. – С. 66-87.
26. Isha I. B., Adib M. R. M. Application of Geospatial Information System (GIS) using Digital Shoreline Analysis System (DSAS) in Determining Shoreline Changes //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Т. 616. – №. 1. – С. 012029.

27. Matin N., Hasan G. M. J. A quantitative analysis of shoreline changes along the coast of Bangladesh using remote sensing and GIS techniques //Catena. – 2021. – T. 201. – C. 105185.
28. Kabuth A. K., Kroon A., Pedersen J. B. T. Multidecadal shoreline changes in Denmark //Journal of Coastal Research. – 2014. – T. 30. – №. 4. – C. 714-728.
29. Himmelstoss EA, Thierler E R, Zichichi J, & Ergul A 2009 DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. Updated for version 4.3 (only compatible with ArcGIS 10). In U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278
30. Himmelstoss E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide: US Geological Survey Open-File Report 2018-1179 //Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: US Geological Survey Open-File Report 2018-1179. – 2018.