

# ЯЗЫК ПЛАНИРОВАНИЯ МИССИИ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА GEOJSON

А.В. Инзарцев, А.М. Павин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем морских технологий ДВО РАН<sup>1</sup>

Предлагается графический подход к планированию маршрутного задания (миссии) для широкого класса обзорно-поисковых и обследовательских автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Подход основан на использовании географических объектов, которые описываются на базе формата GeoJSON. Это позволяет использовать широкий спектр существующих программных средств для визуализации объектов такого класса и интерактивного редактирования миссии на карте местности, в том числе по принципу «drag-n-drop». Разработанный язык позволяет задавать желаемое поведение АНПА вне зависимости от его конструктивных особенностей и установленной полезной нагрузки.

## ВВЕДЕНИЕ

Под миссией понимается формализованное описание задания, которое АНПА должен выполнить в процессе работы. Планирование и формализация миссии является важной частью подготовки АНПА к запуску. От удобства применяемых для этих целей средств напрямую зависит эффективность использования АНПА.

К средствам планирования миссии предъявляется ряд общепринятых требований. Во-первых, миссия должна иметь графический интерфейс и должна быть доступной для задания человеком без углубленной программистской подготовки. Во-вторых, требуется, чтобы миссия была адаптируема к различным конфигурациям АНПА [1]. В-третьих, миссия должна обладать гибкостью для описания множества разнородных задач, в том числе связанных с изменением логики поведения АНПА. Средства представления миссии должны также учитывать возможности «интеллектуализации» АНПА и допускать использование как императивного, так и декларативного способа описания. Наконец, широте применения и универсальности того или иного языка миссии способствует использование в его основе общепринятых языковых стандартов и графических средств (движков). Поэтому создание «универсального» языка для описания действий любого АНПА является нетривиальной и актуальной задачей.

В работе представлен новый подход описания языка планирования миссий одного или нескольких подводных аппаратов. Ядром данного метода является командный язык миссии на основе стандарта *GeoJSON*. Данный стандарт [2] поддерживается многими существующими графическими движками, включая веб-фреймворки с открытым исходным кодом (например, *OpenLayers* [3], *Leaflet* [4], *MapBox* [5], *GeoJson.io* [6] и др.), что позволяет минимальными усилиями разработчиков программного обеспечения создавать универсальные средства отображения и редактирования миссии АНПА достаточно широкого класса.

## 1. Основы языка планирования миссии

В основу языка планирования миссии положено представление программы действий АНПА в виде набора элементов маршрутного задания. Каждый элемент маршрутного задания вне зависимости от его функционального назначения может быть отображен на карте местности с привязкой к географическим координатам. Используемый в основе языка стандарт *GeoJSON* (официальное название *RFC7946* [2]) – это формат для кодирования множества географических структур данных, таких как: точка, ло-

<sup>1</sup> 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел.: +7 (4232) 215545, доб. 616; +7 (4232) 215545, доб. 510. E-mail: inzar@marine.febras.ru; pavin@bk.ru

маная линия, полигон и другие. Согласно стандарту, каждый объект может быть представлен геометрией (*Geometry* – область пространства), объектом (*Feature* – пространственно ограниченная сущность) или коллекцией объектов (*FeatureCollection* – список функций). Любой объект из упомянутого стандарта состоит из геометрии и дополнительных свойств, а коллекция – из набора объектов. Таким образом, описание миссии любого АНПА сводится к перечислению различных геометрических типов определенным образом связанных и поддерживаемых стандартом. Стандарт поддерживает следующие геометрические типы: *Point* (точка), *LineString* (ломаная кривая, состоящая из последовательности соединенных отрезков), *Polygon* (полигон или многогранник), *MultiPoint* (последовательность точек), *MultiLineString* (мультиломаная, последовательность ломаных кривых), *MultiPolygon* (мультиполигон, последовательность полигонов) и *GeometryCollection* (коллекция геометрий). Исходя из этого для планирования миссии АНПА на карте местности используются имеющиеся в стандарте геометрические типы, причем интерпретация этих типов производится следующим образом:

- *Point* – движение в точку с заданными географическими координатами;
- *LineString* – движение вдоль ломаной кривой с заданными географическими координатами;
- *Polygon* – обследование замкнутого полигона на карте местности;
- *MultiPoint* – движение вдоль массива точек (режим схож с движением вдоль ломаной кривой, но отсутствует удержание АНПА на линии, соединяющей точки);
- *MultiLineString* – последовательный обход множества ломаных линий;
- *MultiPolygon* – обследование множества полигонов с одинаковыми настройками бортового поискового оборудования;
- *GeometryCollection* – последовательное выполнение всех подзадач, входящих в коллекцию.

Все перечисленные действия, за исключением *GeometryCollection*, будем называть элементами маршрутного задания (ЭМЗ). Таким образом, ЭМЗ представляет собой минимально возможное описываемое действие АНПА в рамках языка планирования миссии, которое отражает управление любым подводным роботом вне зависимости от его конфигурации, функционального назначения и наличия поисково-обследовательского оборудования. Набор элементов маршрутного задания выглядит необходимым и достаточным для планирования простых

миссий с элементами декларативности, связанных с последовательным перемещением АНПА по заранее заданной программной траектории. Следует отметить, что способ выполнения того или иного ЭМЗ не декларируется и может зависеть как от конструктивных особенностей подводного робота, так и от режимов функционирования бортовой полезной нагрузки и иных параметров маршрута. Например, реализация действия «полигон» по обследованию замкнутого многогранника на карте местности может производиться различными способами. В частности, траектория покрытия полигона серией галсов может представлять собой «меандр» с фиксированным или переменным шагом; «зигзаг» с различными углами поворота; сходящуюся или расходящуюся «спираль» и т.д. Также возможны различные режимы перемещения подводного робота по маршруту следования: «крейсерский ход» с регулированием глубины или высоты (например, при обследовании района с помощью гидролокатора бокового обзора) или «режим зависания» (при фотообследовании малым ходом на небольшом расстоянии от дна). Все ЭМЗ (все типы, кроме *GeometryCollection*) должны иметь свойство *coordinates* (координаты), согласно спецификации *GeoJSON*. Значение данного свойства всегда представляет собой массив, структура элементов которого определяется типом геометрии и описывает географию перемещения АНПА на карте местности (подробнее см. в разделе «Представление географических координат»).

Объект *GeometryCollection* (коллекция геометрий) будем называть «подмиссией» АНПА или списком задач, так как он представляет собой последовательный набор действий, которые должен выполнить аппарат. В свою очередь, подмиссия может содержать сами элементы маршрутного задания и/или другие подмиссии, что позволяет организовать вложенную (иерархическую) структуру описания задач АНПА.

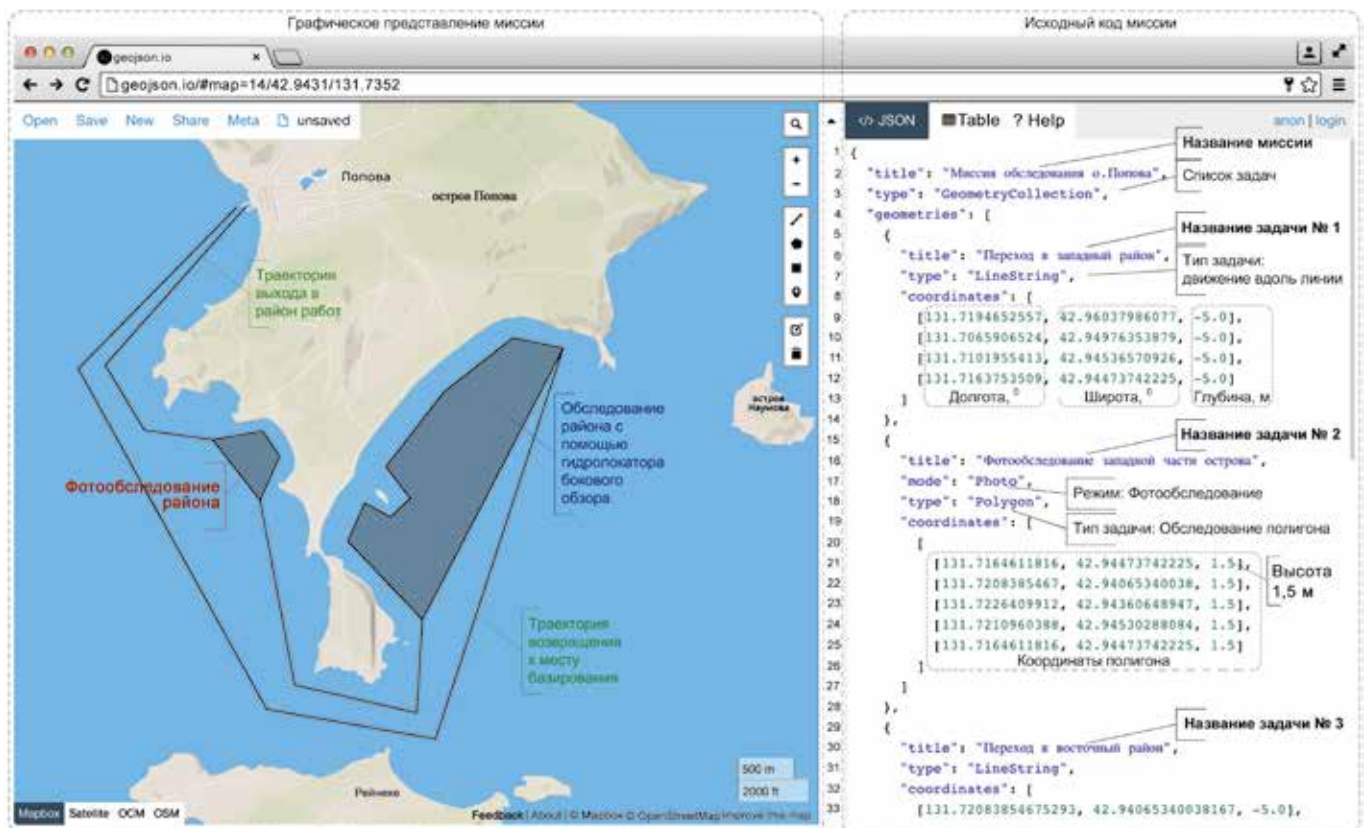
Строго говоря, приведенного набора элементов достаточно для описания «простого» поведения АНПА, состоящего из переходов по заданным траекториям с «попутным» выполнением необходимых действий. Большую выразительность языку (и большие возможности по программированию миссии) придают дополнительные свойства, которые допускаются указывать в каждом из приведенных объектов. Дополнительные свойства могут быть специфичными для различных аппаратов. При переносе кода миссии между АНПА разных типов в графическом интерфейсе оператора следует акцентировать внимание на несоответствие полей. Подобный

подход позволит: а) наследовать общие части ранее разработанных миссий при переносе кода с одного аппарата на другой; б) при несовместимости некоторых режимов АНПА – либо производить замену на аналогичные режимы, либо видоизменять/модифицировать программу-задание с учетом реальных возможностей конкретного робота.

В одной из предыдущих работ [12] для описания всей миссии авторами предлагалось использовать такие типы стандарта *GeoJSON*, как *Feature* (специфическая черта, особенность) и *FeatureCollection* (набор особенностей). Однако дальнейшие исследования показали, что использование подобных конструкций является избыточным, усложняет код и понимание языка в целом из-за появления дополнительного уровня иерархии на каждый ЭМЗ. В свою очередь, большинство существующих программных движков для отображения исходного кода *GeoJSON* допускают введение дополнительных полей (не определенных стандартом), что допускается и самим стандартом. В частности, «сложные» действия робота по обследованию полигона при таком подходе могут быть описаны различными способами в зависимости от уровня «интеллекта» системы управления АНПА. Например, желаемая траектория покрытия многоугольника может быть отрисована

оператором «вручную на экране монитора». В этом случае используется ранее описанный тип *LineString* с соответствующими настройками движения вдоль всей ломаной. Также, траектория может генерироваться автоматически на посту оператора АНПА, а результаты расчетов «покрытия» представляются в виде автоматически сгенерированной ломаной типа *LineString*. Наконец, траектория может быть сформирована самой системой управления на борту АНПА в реальном времени [7] с использованием координат границ полигона. В этом случае используется тип *Polygon* и на экране оператора отображается только желаемый район обследования.

На рисунке приведены фрагменты кода типичной обзорно-поисковой миссии подводного робота и графическое представление получившегося маршрутного задания. Рассматриваемая миссия предполагает выход АНПА из точки базирования (пирс на острове Попова) для проведения обследования двух областей (на западном и восточном побережье острова) с последующим возвращением АНПА в исходную точку. В каждом элементе маршрутного задания присутствует ключ *coordinates* (координаты), который содержит массив географических координат перемещения подводного робота. Поле *type* (тип) определяет режим перемещения АНПА во время выполнения



Пример исходного кода миссии АНПА и его графическое представление существующими программными средствами (изображение сформировано с использованием ресурса [www.geojson.io](http://www.geojson.io) [6])

ЭМЗ согласно приведенному ранее списку. Дополнительные поля *title* (название) и *mode* (режим) поясняют действия АНПА во время выполнения каждого элемента миссии. В левой части рисунка отображается планируемая траектория подводного робота, а в правой – листинг исходного кода на предлагаемом языке. Из названия (*title*) на верхнем уровне иерархии следует назначение миссии, названия в каждом последующем ЭМЗ поясняют действия робота во время выполнения подзадачи. Стандарт допускает применение любых дополнительных полей, которые в нотации языка *JavaScript Object Notation* (стандарт представления данных RFC 7159 [13]) называются ключами объекта. Следует отметить, что на практике могут быть полезны следующие дополнительные поля/ключи на уровне миссии и подмиссии АНПА:

- *description* (описание) – подробное описание миссии или набора подзадач на локальном языке;
- *author* (автор) – фамилия/имя/отчество автора миссии или списка составленных задач;
- *date* (дата) – дата создания или последнего изменения миссии/подмиссии;

- возможны любые другие поля, которые необходимы для понимания миссии или специфических задач АНПА, поля игнорируются программным обеспечением подводного робота и поэтому не могут негативно повлиять на совместимость исходного кода.

Для демонстрации результатов предлагаемого подхода использовался открытый ресурс *geojson.io* [6], который использует технологии *MapBox* [5] и *Leaflet.js* [4] для визуализации объектов *GeoJSON* на карте местности. Стоит отметить, что ресурс не подвергался каким-либо дополнительным изменениям с целью демонстрации возможностей предлагаемого подхода. Однако, несмотря на это, имеющаяся реализация адекватно отображает планируемое перемещение АНПА без какой-либо дополнительной информации об объекте управления или его функциональном назначении. Подобное отображение можно назвать «кинематическим», так как оно связано с нанесением планируемой траектории в районе работ и не учитывает динамические свойства АНПА. Для планирования маршрутного задания такого представления достаточно. Более детальное отображение траектории АНПА с учетом его динамических характеристик весьма ресурсоемко и практически нереализуемо «налету» (во время нанесения траектории оператором) и при использовании режима «*drag-and-drop*» (интерактивное перемещение объектов курсором мыши).

Согласно спецификации формат *GeoJSON* всегда представляет собой единственную сущность: геометрию, элементарный объект или коллекцию элементарных объектов [14]. При этом существует ряд ограничений и допущений:

1. Объект должен иметь свойство «*type*». Значение этого свойства – строка, содержащая тип объекта.

2. Значение свойства «*type*» должно принимать одно из значений рассмотренных ранее значений.

3. Объект может иметь произвольное количество свойств (пар ключ/значение).

4. Объект может иметь необязательное свойство «*crs*», значение которого должно содержать объект системы координат.

5. Объект может иметь свойство «*bbox*», значение которого представляет массив координат вершин ограничивающего прямоугольника.

Первые два условия рассмотрены выше, и как отмечалось ранее, все геометрии, тип которых отличен от *GeometryCollection*, должны иметь свойство *coordinates* (координаты). Остановимся подробнее на понятиях *coordinates*, *crs* и дополнительных свойствах из стандарта *GeoJSON* в контексте языка планирования миссии АНПА.

## 2. Представление географических координат

Стандарт регламентирует координаты как упорядоченный массив чисел, который должен содержать два элемента и более. Порядок элементов должен быть следующим: *x*, *y*, *z*. Для данных, находящихся в прямоугольной системе координат, эти величины означают смещение на восток, смещение на север и высоту соответственно. В географической системе координат данные интерпретируются как долгота, широта и высота. Допускается введение дополнительных элементов, однако их интерпретация выходит за рамки спецификации *GeoJSON*. В предлагаемом языке имеет смысл конкретизировать первые три координаты.

В контексте планирования обзорно-поисковых миссий АНПА координаты *x* и *y* удобно интерпретировать как долготу и широту стандарта *WGS84* [8] в числовом формате с плавающей запятой ( $\pm$  градусы. доли\_градусов). В отличие от возможных вариантов написания долготы и широты в градусах/минутах или градусах/минутах/секундах (т.е.  $N12^{\circ}34.5678$  или  $N12^{\circ}34'56.78''$ ) значение с плавающей запятой проще для машинного представления, поддерживается многими картографическими движками и однозначно интерпретируется как человеком, так и ЭВМ. На практике большинство систем управления АНПА имеют внутреннее (машинное) представление аналогичным образом. При этом интерфейс пользователя

может предлагать оператору на выбор несколько вариантов отображения географических координат. Про третью координату стандарт говорит, что если она существует, то должна быть высотой, при этом нет уточнений касательно «точки отсчета» высоты. Исходя из этого в языке планирования миссий предлагается использовать третью координату  $z$  следующим образом (не нарушая соглашений *GeoJSON*):

1. Нулевым значением считается уровень моря в данной точке пространства в текущий момент времени, все значения  $z$  измеряются в метрах.

2. Отрицательные значения  $z$  соответствуют заданной глубине погружения АНПА относительно поверхности моря.

3. Положительные значения  $z$  регламентируют высоту движения АНПА относительно морского дна (грунта, ландшафта, расположенных на дне объектов).

4. Строгое равенство  $z$  нулю соответствует режиму движения АНПА по поверхности.

Первое правило обусловлено тем, что в большинстве случаев подводный аппарат измеряет свою глубину с помощью датчика давления. При этом измерения производятся относительно поверхности моря в данной точке пространства вне зависимости от текущих значений приливов/отливов и без привязки к земной поверхности. Следующие три правила позволяют с помощью одного параметра  $z$  однозначно интерпретировать (кодировать) три различных взаимоисключающих режима управления аппаратом в вертикальной плоскости без введения дополнительных параметров. Поскольку спецификация допускает отсутствие третьего параметра, то эту ситуацию также следует регламентировать. В случае отсутствия данных о высоте  $z$  режим движения по высоте считается «автоматическим». Его выбор определяется системой управления в зависимости от текущего режима *mode* элемента маршрутного задания. Например, если установлен режим фотографирования дна, то система управления движением будет стабилизировать высоту (отстояние) от грунта около 1,5–2 м в зависимости от настроек фотосъемки. А если указан режим обследования акватории с помощью гидролокатора бокового обзора, то будет выбрана высота около 20 м. Подробнее о режимах выполнения маршрутного задания см. раздел «Дополнительные свойства и режимы функционирования АНПА». Аналогичный подход применяется ко всем необязательным параметрам, которые отсутствуют в конкретном плане миссии. Одним из ярких

примеров таких величин является значение скорости АНПА. Если скорость робота не задана явным образом в плане маршрутного задания, то предполагается, что ее значение «автоматическое» и выбирается исходя из режима ЭМЗ. В свою очередь, если в данном фрагменте миссии явным образом не задан режим движения, то используются настройки верхнего уровня иерархии. Такой подход удобен при описании сложного поведения АНПА с сохранением ряда настроек. Например, на самом верхнем уровне древа миссии можно задать режим движения АНПА и/или его скорость, а на нижних уровнях можно конкретизировать перемещения в горизонтальной плоскости без копирования повторяющихся величин.

Особенностью массива координат (*coordinates*) является различие его структуры и уровней вложенности в зависимости от описываемого географического объекта. Различают следующие варианты представления этого массива в зависимости от типа объекта:

- одномерный массив, состоящий из двух и более координат, если типом описываемого геометрического объекта является точка *Point*; в этом случае используется запись вида:

«coordinates»: [131.1, 42.2]

- двумерный массив позиций, в случае если геометрия описываемого объекта является ломаной кривой *LineString* или массивом точек *MultiPoint*:

«coordinates»:

```
[
  [131.1, 42.2],
  [131.3, 42.4]
]
```

- в случае описания района обследования *Polygon* (в т.ч. с внутренними «запрещенными» областями) или списка траекторий, состоящих из ломаных кривых (геометрия *MultiLineString*) в массиве координат добавляется еще один уровень вложенности:

«coordinates»: [
 [[131, 41], [132, 42], [131, 44]],
 [[134, 44], [133, 43], [134, 42]]
]

- наконец, для записи последовательности полигонов *MultiPolygon* размерность массива координат увеличивается еще на одну позицию (запись модифицируется по аналогии с предыдущими пунктами).

### 3. Использование локальных систем координат

Согласно стандарту *GeoJSON* система координат объекта определяется значением свойства *crs* (*Coordinate Reference System*). Если объект не имеет данного свойства, то оно наследуется от родительского или прародительского объекта (по аналогии с другими необязательными параметрами, описанными выше). Если значение *crs* не может быть определено, то к объекту применяется значение по умолчанию, в качестве которого используется географическая система координат *WGS84* в десятичных градусах долготы и широты. Значение свойства *crs* должно представлять объект *JSON* или значение *null*, которое означает отсутствие информации о системе координат (СК). Данное свойство следует помещать на самый верхний уровень иерархии объекта и не следует повторять или переопределять в дочерних объектах. Иерархия объектов соответствует последовательности: коллекция элементарных объектов => элементарный объект => геометрия.

Подробное описание структуры записи и обозначений разных систем координат можно найти в [2, 14]. В рамках статьи ограничимся примерами используемых при планировании маршрутного задания систем координат и рассмотрим дополнительные возможности, которые можно извлечь из данного свойства.

Как упомянуто ранее, стандарт подразумевает использование системы координат *World Geodetic System 1984 (WGS 84)* [8], если не указано иное. Использование альтернативных систем координат по умолчанию ранее рассматривалось [9], но было удалено из текущей версии спецификации. Однако если все участвующие стороны имеют предварительную договоренность, альтернативные системы координат могут использоваться без риска неверного истолкования данных. На практике упомянутой выше СК достаточно для описания большинства миссий, выполняемых подводными аппаратами обзорно-поискового класса. В некоторых случаях удобно использовать так называемую локальную систему координат, которая кратко может быть описана следующими правилами:

1. Точка отсчета локальной СК выбирается произвольно в районе предполагаемых работ (например, положение навигационного гидроакустического маяка) и не изменяется на протяжении всей миссии.

2. Координаты  $(x, y)$  локальной СК отсчитываются к востоку и к северу от точки отсчета соответственно.

3. Единицей измерения дистанции в локальной СК является «метр».

Поскольку стандарт допускает переопределение систем координат, а порядок следования элементов  $(x, y)$  не противоречит стандарту, то предполагается на уровне языка описания миссий АНПА зарезервировать значение *Local*, под которым будет подразумеваться использование описанной выше локальной СК.

Приведенное описание систем координат, предназначенных для обзорно-поисковых миссий АНПА и связанных только с обследованием набора областей, выглядит исчерпывающим. Однако обобщение понятия «локальная СК» на множество произвольных объектов (например, объектов поиска) позволяет расширить функционал языка планирования миссий и сделать код языка более читабельным. Представим, что в задачи миссии входит обследование некоторого района работ с помощью гидролокатора бокового обзора (ГБО) с целью поиска некоторого малогабаритного объекта (таким объектом может быть затонувшее судно, упавший вертолет и т.п.). Первая часть указанной миссии может быть успешно описана с использованием введенных ранее конструкций языка. Как правило, вторым этапом подобных работ является тщательное дообследование места обнаружения объекта с помощью регистрирующей фото-видеоаппаратуры. Причем возможно несколько вариантов проведения дальнейших работ в зависимости от сложности идентификации объекта поиска и «интеллектуальности» обзорно-поисковых систем подводного робота. В первом случае после проведения обзорно-поисковой съемки гидролокатором бокового обзора АНПА всплывает на поверхность, передает собранные данные на борт обеспечивающего судна, оператор анализирует данные и принимает решение о детальном фотообследовании одного или нескольких участков акватории. В рамках второго сценария: АНПА во время обследования акватории самостоятельно идентифицирует «подозрительные» объекты [15], передает их координаты и фрагменты ГБО-эхограмм на борт обеспечивающего судна, и оператор может принять решение о детальном дообследовании интересующего района. Наконец, третий сценарий предполагает отсутствие оператора в цепочке принятия решений о дообследовании некоторой точки и выполнение его функций системой управления АНПА. Во всех трех сценариях имеются координаты обнаруженного объекта (который будем называть *SomeObject*), рассчитанные системой управления АНПА и/или оператором. Дальнейшее планирование задач (подмиссии) удобно производить в связанной с объектом системе координат и с использованием системы счисления расстояний в метрах (а не градусах, как

в *WGS84*). Например, описание приведенной выше задачи с использованием предлагаемого подхода укладывается всего в несколько строчек:

```
{
  «crs»: «SomeObject»
  «type»: «Polygon»,
  «mode»: «Photo»,
  «coordinates»: [[
    [-10, -10], [-10, 10],
    [ 10, 10], [-10, 10]
  ]]
}
```

Приведенная выше запись означает, что подводному аппарату необходимо произвести фотообследование (*mode:Photo*) полигона (*type:Polygon*) с координатами  $\pm 10$  м (см. *coordinates*) относительно объекта с именем *SomeObject*. Можно еще больше расширить понятие координатной привязки *crs* и применить его не только к статичным объектам, но и к подвижным (например, к другим подводным аппаратам, судну обеспечения, мобильной доковой станции и т.п.). В этом случае можно говорить о возможностях планирования маршрутного задания для нескольких АНПА в среде с изменяющимся местоположением объектов, относительно которых производится управление. Предлагаемое обобщение

выходит за рамки данной статьи и является целью дальнейших исследований по разработке языка планирования миссий для группы АНПА.

#### 4. Дополнительные свойства и режимы функционирования АНПА

Каждый тип геометрии в стандарте *GeoJSON* соответствует определенному перемещению АНПА в районе работ. Однако сам стандарт не регламентирует способ перемещения какого-либо объекта вдоль описанных геометрических фигур или режимы функционирования бортового оборудования. В рамках разрабатываемого подхода предлагается регламентировать несколько дополнительных свойств вне стандарта *GeoJSON* для однозначной интерпретации семантических конструкций языка всеми АНПА. Остальные (специфичные) свойства, связанные с управлением подводным роботом и режимами функционирования его оборудования могут добавляться по мере необходимости. Помимо «косметических» полей *title*, *description*, *author*, *date*, введенных в начале работы и не оказывающих непосредственное влияние на поведение АНПА, предлагается следующий список дополнительных ключей, связанных с функционированием подводного робота и его бортового оборудования (см. таблицу).

Параметры и значения специфичных для АНПА режимов функционирования

№	Параметр	Тип/значение	Описание
1	<i>mode</i>	<i>Auto</i> – значение по умолчанию <i>Photo</i> – фотообследование <i>SideScanSonar</i> – ГБО-обследование <i>ForwardSonar</i> – гидролокатор переднего обзора <i>BottomProfiler</i> – донный профилограф <i>MBESounder</i> – многолучевая эхолотационная система <i>SideScanSonar_BottomProfiler</i> – донный профилограф и многолучевая эхолотационная система	Режим работы или функционирования АНПА, включая режимы работы поисково-обследовательского оборудования и системы управления АНПА
2	<i>polygon_mode</i>	<i>Auto</i> – значение по умолчанию <i>Meander</i> – траектория типа «меандр» <i>DivergingSpiral</i> – траектория «расходящаяся спираль» <i>ConvergingSpiral</i> – траектория «сходящаяся спираль» <i>Zigzag</i> – траектория типа «зигзаг»	Режим (фигура) покрытия полигона серией галсов
3	<i>polygon_distance</i>	Число, единица измерения – м	Расстояние между галсами при обследовании полигона
4	<i>velocity</i>	Число, единица измерения – м/с	Продольная скорость движения АНПА
5	<i>up</i>	Число, единица измерения – м	Высота движения над грунтом – если значения больше нуля; или глубина погружения – если значения ниже нуля; или движение по поверхности – если значение строго равно нулю

Ключ *mode* является основополагающим дополнительным (по отношению к стандарту *GeoJSON*) параметром. Для составления простых декларативных миссий обзорно-поискового характера достаточно только этого ключа и конструкций из стандарта *GeoJSON*. Значение данного параметра по умолчанию *Auto* (первое значение в таблице) предписывает подводному аппарату функционировать в автоматическом режиме в зависимости от предустановленных настроек самого робота. Для различных подводных роботов этот параметр может означать вариативность поведения. Как правило, можно предполагать, что в этом режиме у АНПА включены все минимально необходимые для управления системы и выключено все энергоемкое поисковое оборудование. Данный режим предназначен преимущественно для перехода АНПА в район работ и для случаев, когда оператор явно не указал какое именно поисковое оборудование должно использоваться. Резонно регламентировать, что данному режиму соответствуют значения *Auto* всех зависимых параметров. Например, скорость *velocity* и высота *up* также будут находиться в состоянии *Auto*. Предлагается в целях безопасности скорость и высоту АНПА при движении в режиме *Auto* считать нулевыми. Такое решение, по крайней мере, заставит АНПА всплыть на поверхность и не двигаться, что позволит оператору вовремя скорректировать маршрут движения. Отсутствие самого параметра *mode*, даже на самом верхнем уровне иерархии, также интерпретируется наличием значения *Auto*. В таблице приведен список возможных состояний параметра *mode* для различных типов АНПА. В зависимости от данного режима значения всех остальных параметров, находящихся в состоянии *Auto*, также могут видоизменяться в зависимости от конфигурации и возможностей самого робота. Например, в режиме *Photo* логично установить движение АНПА с контролем отстояния от грунта (т.е.  $up > 0$ ) и небольшую скорость перемещения АНПА *velocity* (например 0,5 м/с). Конкретные настройки зависят от конфигурации АНПА и находятся вне соглашений предлагаемого языка миссии. Целесообразно совместное использование некоторых из перечисленных режимов, например, режим съемки с помощью ГБО (*mode:SideScanSonar*) и акустического донного профилографа (*mode:BottomProfiler*). В одной из предыдущих работ [12] для решения данной задачи авторы статьи предлагали использовать массив перечисленных в таблице режимов. Однако практический опыт реализации подобной системы на одном из аппаратов ИПМТ ДВО РАН

показал сложность данного решения. Возможности предлагаемого языка позволяют комбинировать (в том числе несочетаемые) режимы функционирования АНПА (например, фото- и ГБО-обследование), что приводит к сложностям в реализации алгоритма функционирования самого АНПА и искусственному (программному) отслеживанию недопустимых комбинаций режимов. Приемлемым вариантом решения данной проблемы видится введение нового «комбинированного» режима управления, например *SideScanSonar\_BottomProfiler* (см. таблицу).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе результаты характеризуют начальный этап исследований по разработке «универсального» языка планирования маршрутного задания АНПА. Основной идеей предлагаемого подхода является применение существующего стандарта описания географических примитивов для планирования маршрутного задания автономных подводных роботов любой конфигурации и конструктивного исполнения. Следование популярному стандарту *GeoJSON* позволяет без дополнительных усилий со стороны разработчиков программного обеспечения использовать существующие графические средства для отображения и редактирования миссии АНПА. Описанный выше подход был реализован в АНПА, предназначенном для выступлений российской студенческой команды на международных соревнованиях *RoboSub* [10] и *SAUVC* [11]. Дальнейшее направление работ видится в добавлении элементов языка, отвечающих за «логику» поведения подводного робота при решении сложных «интеллектуальных» задач во время функционирования в группе и/или при проведении долгосрочных миссий без связи с человеком-оператором.

Исследования проводились при финансовой поддержке программ Президиума РАН: № 29 (264-2018-0007 (1.29)) «Актуальные проблемы робототехнических систем», № 30 (264-2018-0008 (1.30)) «Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации»; программы фундаментальных научных исследований «Дальний Восток» ДВО РАН: грант № 18-5-054 (264-2018-0005) «Разработка методов синтеза информационно-управляющих систем подводных робототехнических средств для автоматического выполнения подводных операций в условиях частично неопределенного окружения»



## ЛИТЕРАТУРА

1. Pavin A.M., Inzartsev A.V., Eliseenko G. Reconfigurable Distributed Software Platform for a Group of UUVs (Yet Another Robot Platform) // Proc. of the OCEANS 2016 MTS/IEEE. Monterey, USA, 2016. ISBN DVD: 978-1-5090-1538-2.
2. Butler H., Daly M., Doyle A., Gillies S., Hagen S., Schaub T. The GeoJSON Format, RFC 7946. The Internet Engineering Task Force. – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7946> (дата обращения: 30.04.2018).
3. OpenLayers Official Website (a high-performance, feature-packed library for all your mapping needs). – URL: <https://openlayers.org/> (дата обращения: 30.04.2018).
4. LeafletJS Official Website (an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps). – URL: <https://leafletjs.com/> (дата обращения: 30.04.2018).
5. MapBox Official Website (Mapbox is a Live Location Platform. – URL: <https://www.mapbox.com/> (дата обращения: 30.04.2018).
6. Official Website (geojson.io is a quick, simple tool for creating, viewing, and sharing maps). – URL: <http://geojson.io> (дата обращения: 30.04.2018).
7. Bagnitckii A., Inzartsev A.V., Pavin A.M. Planning and correction of the AUV coverage path in real time // Proc. of IEEE OES Int. Symp. on Underwater Technology 2017. P. 1–6. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7890299/> (дата обращения: 30.04.2018).
8. WGS 84. Википедия — свободная энциклопедия. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/WGS\\_84](https://ru.wikipedia.org/wiki/WGS_84) (дата обращения: 30.04.2018).
9. Butler H., Daly M., Doyle A., Gillies S., Schaub T., Schmidt C. The GeoJSON Format Specification, June 2008. – URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-butler-geojson-06#ref-GJ2008> (дата обращения: 30.04.2018).
10. RoboNation Official Website. – URL: <http://www.robonation.org/competition/robosub> (дата обращения: 30.04.2018).
11. Singapore AUV Challenge Official Website. – URL: <https://sauvc.org/> (дата обращения: 30.04.2018).
12. Pavin A.M., Inzartsev A.V. A GeoJSON-based Mission Planning Language for AUV (AUVGeoJSON Language) // Proc. of the OCEANS 2018 MTS/IEEE Conf. Charleston, USA, 2018. DOI: 10.1109/OCEANS.2018.8604643.
13. RFC 7159 – The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange. Official Website. – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7159.html>. (дата обращения: 30.04.2018).
14. Спецификация формата GeoJSON. – URL: [http://gis-lab.info/docs/geojson\\_ru.html#B](http://gis-lab.info/docs/geojson_ru.html#B). (дата обращения: 30.04.2018).
15. Pavin A.M. Underwater Object Recognition in Photo Images // Proc. of the OCEANS 2015 MTS/IEEE Conf., 2015. Washington, USA, 2015. (CD 978-0-933957-43-5).

