

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ НА ПРОМЕЖУТОЧНОМ ЭТАПЕ № 3**

«Этап 3»

Государственного контракта с Министерством образования и науки Российской Федерации от 20 сентября 2010 г. № 14.740.11.0410

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Шифр:                         | «2010-1.1-220-142-050»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Период<br>выполнения<br>этапа | 15.06.2011 г. - 01.12.2011 г.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Исполнитель                   | Учреждение Российской академии наук Институт проблем<br>экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, г. Москва                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Цель работы                   | Проведение комплексного анализа атмосферных,<br>океанографических и ледовых параметров, полученных по<br>данным спутниковых и наземных измерений, а также<br>определение индикаторов изменений климата для оценки<br>динамики таяния арктических льдов и влияния изменений<br>климата на арктические экосистемы.<br><br>Выполнение НИР должно обеспечивать достижение<br>научных результатов мирового уровня, подготовку и<br>закрепление в сфере науки и образования научных и<br>научно-педагогических кадров, формирование<br>эффективных и жизнеспособных научных коллективов. |

**1. Наименование разрабатываемой продукции**

В рамках этапа № 3 проекта выполнены исследования, направленные на усовершенствование методов обработки данных дистанционного зондирования для оценки событийных параметров таких, как даты начала таяния снега на поверхности льда и даты схода снежного покрова в тундровых зонах. Выявлены преобладающие направления связи во времени между вегетационным индексом и ледовой обстановкой в шельфовой зоне. На основании квазиреальных данных проанализированы площадь и протяженность ледового покрова Арктики в период летнего минимума

(август – сентябрь 2011 г.) и их зависимость от атмосферных условий. По температурным полям, заложенным в разработанную линейную модель, реконструированы концентрация льда и вегетационный индекс в доспутниковую эру (1948-1978 гг.). Вся разрабатываемая продукция ориентирована на изучение отклика параметров ледовых и наземных местообитаний на возможные изменения климата.

## **2. Характеристика выполненных на этапе работ по созданию продукции**

2.1. Результаты работы на этапе №3, в том числе разработанные виды продукции (веществ / устройств / программных продуктов / технологий / методов и результатов исследований) с указанием их характеристик, полученных, в том числе, по результатам испытаний, оценка соответствия этих характеристик требованиям задания.

В ходе выполнения третьего этапа НИР в рамках проекта выполнены следующие работы:

- подготовлены и проведены три экспедиции, направленные на оценку распределения, численности и характера перемещений морских млекопитающих. Для осуществления этой цели использованы попутные судовые наблюдения за морскими млекопитающими и их авиаучет с помощью вертолета, а также работа по обездвиживанию особей белого медведя, взятию проб и инсталляции спутниковых радиошейников для последующего слежения за перемещением самок;

- разработан метод оценки даты начала таяния снега на поверхности льда. От предшествующих, этот метод отличается меньшей чувствительностью к качеству однородности временных рядов по данным многолетних спутниковых измерений, полученных с помощью различных инструментов. Построенные многолетние (1988 – 2007 гг.) карты пространственного распределения дат начала таяния свидетельствуют о наличии тенденции к более раннему началу весны в Арктике;

- оценен летний минимум площади и протяженности морского льда Арктики в 2011 г., проведено сравнение с ледовой обстановкой в предшествующие периоды, оценено влияние атмосферных условий на распределение ледовой кромки, построена модель, позволяющая реконструировать значения летней концентрации льда в доспутниковую эру до середины XX века по полям температуры воздуха. Показано, что, начиная с 2003 г. скорость убывания ледового покрова возросла в четыре раза;

- для оценки даты схода снежного покрова в зоне арктических местообитаний северного оленя разработан метод с использованием принципиально нового, по сравнению с оценкой дат начала таяния морского льда, анализа структурных изменений многомерных рядов по данным спутникового пассивного микроволнового зондирования. Построены многолетние (1996 – 2007 гг.) карты наступления бесснежья для тестовых регионов, демонстрирующие меридианную задержку в таянии снега в северном направлении и более раннее таяние на оленьих местообитаниях в западном полушарии по сравнению с восточным;

- исследованы механизмы, влияющие на сезон роста растений в северном полушарии. Отмечено, что с начала XXI века интенсивность роста в начале вегетационного сезона значительно превосходит аналогичный параметр прошлого века. Проведен анализ направления связи между растительной фенологией и ледовой обстановкой в шельфовой зоне Арктики, выявивший негативную зависимость между вегетационным индексом в июне и концентрацией льда в летне-осенний период. Использование полей температуры воздуха в мае в качестве предиктора позволило построить линейную модель предсказания вегетационного индекса в июне. На основании этой модели выполнено историческое восстановление растительной фенологии с наших дней до 1948 г.

Таким образом, полученные результаты выполненных работ соответствуют требованиям пунктов 3.1 – 3.5 Технического задания.

## 2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению, и определяющими мировой уровень.

Разработана и апробирована стратегия спутникового мониторинга Арктики, создана многолетняя интегрированная база спутниковых данных, ориентированная на изучение изменчивости ледового покрова, индикацию глобальных изменений по трендам ледового покрова, датам начала и продолжительности сезона таяния, возрасту и толщине морского льда, концентрации талых озер и альбедо поверхности льда в летний период. Разработаны алгоритмы оценки типов и концентраций морского льда по микроволновым данным; созданы цифровые карты геофизических и событийных параметров ледового покрова. Детально рассмотрены проблемы создания однородного набора данных спутниковых измерений и выработаны практические рекомендации по их решению. Большинство исследований выполнено впервые в мире. Разработанные методы и полученные результаты имеют особое значение для изучения полярных регионов и оценки глобальных и региональных изменений климата.

## 2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.

За последние тридцать лет площадь морского льда в Арктике уменьшается со скоростью 6.4% в год, причем согласно результатам исследований на отчетном этапе за последнее десятилетие скорость уменьшения ледового покрова по состоянию на конец лета возросла почти в четыре раза. Арктический лед считается индикатором изменения климата, поэтому к нему приковано огромное внимание. Объяснение механизмов, влияющих на уменьшение площади льда, часто носит региональный и кратковременный характер, при анализе долгосрочных измерений эти связи отсутствуют. Поэтому в нашей работе мы опираемся на существующие базы данных ледовых параметров, созданных нами и распространяемых международными центрами коллективного пользования, к примеру, Национальным центром

данных по льду и снегу (NSIDC, США). К сожалению, свободно распространяемые данные имеют несколько недостатков: отсутствуют своевременные обновления продуктов; результаты получены с использованием несовершенных методов. В связи с этим возникает необходимость разработки собственных алгоритмов.

Большинство разработанных и апробированных методов продолжают совершенствоваться. Это определено современным уровнем качества создаваемых продуктов в виде баз данных. На этом этапе проведены работы по оценке событийных параметров, характеризующих день, когда наступает то или иное событие. Для морского льда мы усовершенствовали методы по оценке даты начала таяния снега, направив улучшение на снижение чувствительности метода к качеству однородности временных рядов спутниковых измерений. Для оленьих тундровых местообитаний мы разработали метод, позволяющий оценить даты схода снежного покрова. Позднее установление бесснежья задерживает развитие роста растений.

Применение новых и классических методов анализа и современных программных средств позволит обнаружить механизмы влияния изменения климата на арктические экосистемы. На данном этапе мы использовали метод принципиальных компонент для уменьшения размерности данных и применили анализ канонических корреляций для построения прогнозов концентрации льда в конце лета и вегетационного индекса в начале лета, используя поля температуры воздуха. Созданные модели позволили реконструировать предсказываемые параметры от наших дней до середины XXI века.

Построение кусочно-линейной регрессионной функции с условием непрерывности в точках перегиба является эффективным способом оценки структурных изменений по анализу межгодовых временных рядов, так как непрерывность функции подчеркивает физические свойства реальных процессов. На данном этапе мы применили эту методику при оценке изменения скорости уменьшения протяженности льда в летний период.

Напротив, построение кусочно-линейных функций без условия непрерывности в узловых точках находит свое применение для анализа сезонного изменения временных рядов радиоярких температур, что находит свое применение в задачах определения сроков весенних и летних сезонов, когда увеличение влаги к снегу приводит к резким изменениям в структура временных рядов.

Анализ данных в режиме, близком к реальному времени, имеет большое народнохозяйственное значение для осуществления навигации и составлении краткосрочных прогнозов. Анализ текущей ледовой обстановки (задержка до 1-2 месяцев) позволяет оценить современное состояние климата в Арктическом регионе, поэтому анализ летних минимумов протяженности и площади ледового покрова льда 2011 г. является своевременным. К тому же лед в период летнего минимума является наилучшим индикатором «здоровья» арктической климатической системы.

#### 2.4. Объекты интеллектуальной собственности, созданные на отчетном этапе.

На отчетном этапе для созданных объектов интеллектуальной собственности определены условия их использования (лицензия) и применения. На основе приведенного анализа существующих баз данных в мировых центрах коллективного пользования можно сделать вывод о потенциально охраноспособном характере результатов научно-технической деятельности в рамках научно-исследовательских работ по тематике Государственного контракта.

### **3. Области и масштабы использования полученных результатов**

#### 3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты или созданная на их основе инновационная продукция).

Результаты, полученные на третьем этапе, являются основой разработки новых экологических технологий для поиска и анализа статистических связей и

интеллектуального анализа данных (data mining) с целью планирования народнохозяйственной деятельности, оценки влияния изменения климата на экологию, биоресурсы, традиции народов Севера, использования Северного морского пути, добычи нефти, газа и других полезных ископаемых.

### 3.2. Ход практического внедрения полученных результатов

В связи с актуальностью проблемы изменения арктических местообитаний, а также необходимостью подготовки высококвалифицированных кадров в области экологии и бионформатики, в рамках проекта создан неформальный научный коллектив. Основная деятельность направлена на комплексный анализ атмосферных, океанографических, ледовых и наземных геофизических и событийных параметров, полученных по данным спутниковых и наземных измерений и для определения индикаторов изменений климата. Оценка динамики таяния арктических льдов и влияния этих изменений на арктические экосистемы является одним из предметов анализа, обеспечивая интересный и практический набор тем исследования при подготовке аспирантов по экологии, биоинформатике и дистанционному зондированию в институтах РАН и в ВУЗах. Заключены договоры о сотрудничестве в образовательной сфере с учебными заведениями (Международным университетом природы, общества и человека “Дубна” и Московским государственным университетом геодезии и картографии МИИГАиК).

### 3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов, товаров и услуг, созданных на основе полученных результатов, на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, достижение или превышение заданных индикаторов и показателей

Достигнутые результаты способствуют совершенствованию системы образования и системы подготовки специалистов в области экологии и анализа данных дистанционного зондирования Земли из космоса, а также позволяют использовать материалы промежуточного научно-исследовательского отчета в

ходе подготовки научно-педагогических кадров для образовательных учреждений за пределами Российской Федерации.

Привлечение молодых специалистов для выполнения работ на этапе №3 НИР позволяет решать проблемы научного роста молодежи в сфере технических, математических, географических и биологических наук, эффективного воспроизводства в этой сфере научных и научно-педагогических кадров, достигнуть положительной динамики обновления кадрового состава.

#### **4. Выводы**

Цели работы на третьем этапе НИР достигнуты и соответствуют Техническому заданию и Календарному плану. Целесообразно продолжить исследование данного актуального направления и приступить к выполнению работ по плану этапа № 4 НИР.

Руководитель работ по проекту  
Директор Учреждения Российской академии наук  
Института проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН

\_\_\_\_\_ Д.С. Павлов

15 ноября 2011 г.

М.П.