

УДК 004.67

# Информационно-вычислительная система для исследования спектрально-угловых характеристик солнечной радиации

С.Ю. Андреев, Т.В. Бедарева\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 26.12.2011 г.

Представлена информационно-вычислительная система (ИВС) «SoRad» для исследования спектрально-угловых характеристик солнечной радиации. Подробно описываются структура и основные задачи системы, модель атмосферы, в рамках которой выполняются радиационные расчеты, а также разработанная для этой предметной области реляционная модель данных. Приводится описание интерфейса клиентского приложения, его функций, алгоритма работы с приложением по наполнению базы данных. Обсуждаются вопросы, связанные с развитием функциональности ИВС за счет внешних динамически подключаемых библиотек. Получаемые в ходе массовых численных экспериментов и систематизируемые данные могут служить основой для проведения различных исследований.

*Ключевые слова:* численное моделирование, солнечная радиация, аэрозоль, реляционная база данных; numerical modeling, solar radiation, aerosol, relational data base.

## Введение

Теоретические и экспериментальные исследования полей солнечной радиации играют важную роль в понимании процессов переноса излучения в атмосфере Земли. Выявляемые закономерности способствуют разработке методов решения обратных задач, в частности таких как восстановление оптических и микрофизических характеристик аэрозоля по измерениям рассеянного излучения в солнечном альбукантате и плоскости главного солнечного вертикала [1, 2], определение оптической толщины облаков на основе фотометрических данных о яркости неба в направлении «зенит» [3]. При проектировании и использовании различных оптико-электронных систем необходимо как можно более точно оценивать уровень фоновых помех, которые в дневных условиях обусловлены, главным образом, прямым и рассеянным солнечным излучением.

Ввиду многообразия оптических состояний атмосферы, условий освещенности и геометрических схем экспериментов эффективным инструментом исследования полей яркости является численное моделирование. Для проведения массовых расчетов и организации удобного доступа к результатам вычислений требуется специальное программное обеспечение.

В настоящей статье описана созданная нами информационно-вычислительная система (ИВС) «SoRad» (SOlar RADiation), предназначенная:

– для расчета спектрально-угловых характеристик яркости неба на основе формируемого пользователем множества входных параметров;

– для организации хранения, а также быстрого и удобного доступа к результатам моделирования;

– для визуализации входных параметров и результатов вычислений.

ИВС «SoRad» включает в себя:

– прикладное программное обеспечение, предназначенное для выполнения радиационных расчетов;

– электронный архив, состоящий из системы управления базами данных (СУБД) и самой базы данных, содержащей всю информацию о численных экспериментах;

– клиентское приложение, обеспечивающее работу пользователя с системой.

Среди предназначенных для проведения радиационных расчетов систем отметим распределенную и доступную в сети Интернет ИВС «Атмосферная радиация» [4], которую можно использовать, в частности, для расчетов спектральных потоков и интенсивности солнечной радиации, восходящих и нисходящих потоков длинноволнового излучения на различных атмосферных уровнях и т.д. Представленная в настоящей статье система «SoRad» предназначена для использования в рамках локальной вычислительной сети и разработана как инструмент для централизованного хранения данных, выполнения распределенных по множеству ЭВМ массовых вычислений и анализа всей совокупности накопленной информации.

## 1. Модель атмосферы и алгоритмы расчета углового распределения яркости неба

Моделирование полей яркости неба выполняется в плоскопараллельной модели атмосферы. Декартова система координат  $OXYZ$  введена таким

\* Сергей Юрьевич Андреев (serga@iao.ru); Татьяна Владимировна Бедарева (btv@iao.ru).

образом, чтобы ось  $OZ$  была расположена перпендикулярно поверхности Земли. Перенос солнечного излучения описывается на основе стационарного уравнения переноса излучения относительно интенсивности монохроматического излучения  $I(\vec{r}, \vec{\omega}, \lambda)$  в точке  $\vec{r} = (x, y, z)$  в направлении  $\vec{\omega}$ ,  $\lambda$  — длина волны, без учета поляризационных эффектов и рефракции и в предположении об оптической изотропности среды [5]. Оптическая модель атмосферы задается на основе пространственного распределения спектральных коэффициентов ослабления  $\sigma(\vec{r}, \lambda)$  и рассеяния  $\sigma_s(\vec{r}, \lambda)$  (или альbedo однократного рассеяния  $\Lambda(\vec{r}, \lambda)$ ), а также индикатрисы однократного рассеяния излучения  $g(\vec{r}, \lambda, \theta)$ ,  $\theta$  — угол рассеяния.

Предполагается, что на верхнюю границу атмосферы  $z = H$  в направлении  $\vec{\omega}_0$  падает монохроматический поток солнечного излучения. Направление  $(-\vec{\omega}_0) = (\xi_0, \varphi_0)$ , противоположное направлению падения излучения  $\vec{\omega}_0$ , характеризуется зенитным углом Солнца  $\xi_0$  между осью  $OZ$  и вектором  $-\vec{\omega}_0$ , а также азимутальным углом  $\varphi_0$ , отсчитываемым от положительного направления оси  $OX$  против часовой стрелки в плоскости  $OXY$ . Источник излучения (Солнце) описывается функцией  $S(\vec{r}, \vec{\omega}, \lambda) = I_0(\lambda)\delta(\lambda - \lambda_0) \times \delta(z - H)\delta(\vec{\omega} - \vec{\omega}_0)$ , где  $I_0(\lambda) = \pi S_\lambda$  — спектральная солнечная постоянная. Направление визирования  $\vec{\omega} = (\xi, \varphi)$  характеризуется зенитным  $\xi$  и азимутальным  $\varphi$  углами, отсчитываемыми от положительных направлений осей  $OZ$  и  $OX$  соответственно. Отражение от подстилающей поверхности (ПП) с альbedo  $A_s(\lambda)$  описывается законом Ламберта.

Для моделирования яркости диффузной радиации  $I(\vec{r}, \vec{\omega}, \lambda)$  без учета молекулярного поглощения используются два алгоритма метода Монте-Карло [6, 7]. Первый алгоритм предназначен для проведения радиационных расчетов в горизонтально однородной молекулярно-аэрозольной атмосфере, а также при наличии в атмосфере протяженных образований (горизонтальные размеры которых существенно — на несколько порядков — превышают вертикальные), например полей полупрозрачной перистой облачности. Второй алгоритм используется для моделирования полей яркости в горизонтально и вертикально неоднородной среде, а именно при появлении на фоне молекулярно-аэрозольной атмосферы локальных аэрозольных образований. Вертикальные и горизонтальные размеры локальных образований сопоставимы между собой; к ним относятся одиночные облака нижнего и среднего ярусов, конденсационные следы самолетов, промышленные шлейфы, образования в результате аварийных выбросов промышленных предприятий и т.д. Особенности реализации и результаты тестирования алгоритмов подробно описаны в [8].

Для расчета полей яркости неба в горизонтально однородной молекулярно-аэрозольной атмосфере необходима информация о вертикальном распределении коэффициентов аэрозольного  $\sigma_a(z, \lambda)$  и молекулярного (рэлеевского)  $\sigma_R(z, \lambda)$  ослабления,

альbedo однократного рассеяния аэрозоля  $\Lambda_a(z, \lambda)$ , индикатрис однократного рассеяния излучения аэрозольными частицами  $g_a(z, \lambda, \theta)$  и молекулами воздуха  $g_R(\theta)$ .

Оптические характеристики среды в областях пространства, содержащих протяженные или локальные образования, являются результатом аддитивного сложения оптических характеристик последних и молекулярно-аэрозольной атмосферы. При задании локального образования необходимо также описать его форму (эллипсоид, параллелепипед, усеченные конус, параболоид или цилиндр), размеры и положение в пространстве: например, одиночное облако может быть задано в виде эллипсоида с центром в точке  $(x, y, z)$  и размерами полуосей  $R_x, R_y, R_z$ .

## 2. Реляционная модель данных

Выполненный на этапе проектирования базы данных анализ структуры исходных данных и результатов радиационных расчетов показал, что они удовлетворяют всем условиям реляционной модели, а именно:

- являются набором отношений взаимосвязанных величин (например, альbedo земного покрова является функцией длины волны —  $A_s(\lambda)$ );

- не содержат противоречий или пробелов и отвечают условию целостности (например, отношение «тип земного покрова — альbedo земного покрова — длина волны» является однозначным;

- наличие отношений между данными обеспечивает возможность манипуляции ими в соответствии с правилами реляционной алгебры (поиск пересечений, объединение данных и извлечение выборок).

Соответственно, в качестве основы электронного архива выбрана система управления реляционными базами данных, и разработана модель сущностей и связей — «ER-модель». На эту модель были спроецированы фигурирующие в численных экспериментах физические характеристики, которые в результате анализа отношений между сущностями-объектами были разбиты на три группы объектов.

К *первой группе* отнесены объекты, которым сопоставлены простые данные, — параметры, не имеющие в своем составе других:

- длины волн — таблица длин волн (нм)  $\{\lambda_i, i = \overline{1, N_\lambda}\}$ , где  $N_\lambda$  — количество длин волн, используемая для дискретизации спектрального интервала, в пределах которого выполняются радиационные расчеты;

- атмосферные уровни — таблица уровней высот атмосферы (км)  $\{z_j, j = \overline{1, N_z}\}$ , где  $N_z$  — количество уровней, используемая для вертикальной дискретизации столба атмосферы от уровня ПП до верхней границы атмосферы;

- альbedo земного покрова — совокупность таблиц, между которыми установлено соответствие «длина волны — значение альbedo земного покрова»

$\{A_{s,k}(\lambda_i), i = \overline{1, N_\lambda}, k = \overline{1, N_{A1}}\}$ , где  $N_A$  – количество типов земного покрова;

– высотные профили коэффициентов ослабления и альbedo однократного рассеяния аэрозоля – трехмерные наборы данных, в которых для каждой длины волны и каждого атмосферного уровня определены коэффициент ослабления  $\{\sigma_a(z_j, \lambda_i), i = \overline{1, N_\lambda}, j = \overline{1, N_z}\}$  и альbedo однократного рассеяния  $\{\Lambda_a(z_j, \lambda_i), i = \overline{1, N_\lambda}, j = \overline{1, N_z}\}$ ;

– индикатрисы однократного рассеяния излучения аэрозольными частицами – трехмерный набор данных, в котором для каждой длины волны определена аэрозольная индикатриса  $\{g_a(\lambda_i, \theta_k), i = \overline{1, N_\lambda}, k = \overline{1, N_\theta}\}$ , где  $N_\theta$  – количество углов рассеяния;

– метеомодели атмосферы – заданы в виде двух массивов «атмосферный уровень – температура (град)» и «атмосферный уровень – давление (гПа)».

Ко второй группе отнесены объекты, для которых определены ссылки на характеристики предыдущей группы, – составные данные:

– альbedo подстилающей поверхности – величины, представляющие собой линейные комбинации альbedo различных типов земного покрова;

– оптическая модель атмосферы – совокупность высотных профилей коэффициента ослабления, индикатрисы и альbedo однократного рассеяния аэрозольных частиц и молекул воздуха;

– оптические модели локального или протяженного аэрозольного объекта – совокупность коэффициента ослабления, индикатрисы и альbedo однократного рассеяния объекта.

К третьей группе отнесены объекты-учетные записи численных экспериментов, для которых определены ссылки на модели атмосферы и ПП, а также поставлены в соответствие характеристики геометрической схемы эксперимента и количество траекторий фотонов, используемых в алгоритмах метода Монте-Карло. Под геометрической схемой эксперимента подразумевается совокупность таких характеристик, как зенитные и азимутальные углы Солнца и приемника, размер апертуры приемника; форма, линейные размеры и положение в пространстве локального объекта. Создание учетной записи численного эксперимента является отправной точкой для формирования полного набора данных, включающего комбинации ранее введенных моделей ПП и атмосферы и при необходимости локального или протяженного объекта. Полный набор входных параметров может быть задан только на

уровне третьей группы объектов, которым также сопоставлены результаты радиационных расчетов.

Таким образом, каждая группа объектов образует слой, находящийся на определенном уровне иерархии. На вершине иерархии расположены учетные записи экспериментов, а каждый нижележащий слой является составной частью вышележащего (таблица).

Приведенная модель отношений объектов базы данных соответствует принципу пирамиды, в основании которой располагается основной объем данных. Каждый вышележащий уровень состоит из более крупных блоков данных, что позволяет ускорить процесс задания входных параметров численных экспериментов. При этом важным свойством принятой ER-модели является возможность многократного использования нижележащих данных в моделях, находящихся на более высоком уровне. Такой подход позволяет существенно сократить количество регулярно вводимой информации и устанавливает строгое соответствие между входными параметрами и результатами радиационных расчетов.

### 3. Клиентское приложение

Для работы с реализованной в СУБД информационной моделью данных было создано клиентское приложение. На этапе проектирования к приложению были сформулированы требования, направленные на то, чтобы предоставить пользователю возможность:

– просматривать, редактировать, добавлять и удалять входные данные;

– осуществлять обмен данными с внешними приложениями, предназначенными для выполнения радиационных расчетов;

– визуализировать входные данные и результаты численных экспериментов;

– осуществлять поиск результатов численного эксперимента по многокритериальным запросам;

– поддерживать интерфейсы для подключения модулей расширения (плагинов);

– работать с хранилищем данных по локальной сети.

Для визуализации и редактирования входных параметров численных экспериментов программа разработана как многодокументное приложение, в главном окне которого размещены области отображения документов и дерева объектов БД.

#### Отношения объектов базы данных

Численный эксперимент					
Модели подстилающей поверхности		Оптические модели атмосферы		Модели протяженных аэрозольных объектов	
Длины волн	Атмосферные уровни	Метеомодели	Альbedo земного покрова	Индикатрисы однократного рассеяния	Высотные профили коэффициентов ослабления и альbedo однократного рассеяния

Объекты базы данных отображаются на трех отдельных панелях в соответствии с принятой классификацией. Простые и составные объекты отображаются в виде дерева учетных записей, в котором они сгруппированы в соответствии с приведенными выше сущностями. Для отображения учетных записей численных экспериментов используется система виртуальных каталогов, в которых они размещаются в виде простого линейного списка. Структуру каталогов, положение и группировку учетных записей экспериментов определяет пользователь. Отображение дискретно заданных функциональных зависимостей производится в табличном и графическом видах.

Заполнение составных объектов БД, например оптической модели аэрозольных характеристик, производится с использованием выпадающих списков, содержимое которых определяется наполнением БД.

Для того чтобы выполнить новый численный эксперимент, необходимо создать документ «experiment» и заполнить поля, большая часть из которых содержит ссылку на ранее созданные модели:

- название эксперимента – произвольная строка длиной не более 250 символов;
- спектральный диапазон – таблица, заполняемая учетными записями имеющихся в наборе длин волн, которые извлекаются из выпадающего списка;
- оптическая и метеомодель атмосферы, модели подстилающей поверхности – выбираются из существующих в БД моделей;
- модель локального аэрозольного объекта – определяется как сочетание имеющейся в БД оптической модели объекта, его геометрических параметров и положения в пространстве;
- модель протяженного аэрозольного объекта – определяется как сочетание имеющейся в БД оптической модели объекта и его положения в пространстве;
- зенитные углы Солнца и приемника;
- положение приемника в пространстве и размер его апертуры;
- сетка углов визирования – множество азимутальных углов наблюдения, для которых производятся вычисления;
- число траекторий фотонов.

Созданная учетная запись эксперимента получает в БД статус «не рассчитанная», отображаясь в приложении соответствующей пиктограммой, и по требованию пользователя может быть отправлена на расчет.

#### **4. Модули расширения функциональных возможностей системы**

Важнейшим свойством созданного программно-обеспечения является поддержка внешних модулей расширения. Необходимость реализации этого механизма обоснована тем, что в процессе эксплуатации системы потребуется многократное расшире-

ние ее функциональных возможностей. Кроме того, модульная архитектура позволяет организовать коллективную, независимую разработку программного продукта, а также дает возможность сконцентрироваться на решении научных задач и не вникать в устройство всей системы.

Предполагается создание средств:

- экспорта и импорта данных;
- расширенного поиска;
- визуализации и математической обработки информации.

Таким образом, программный продукт представляет собой некий каркас, обладающий только необходимыми и потому немногочисленными функциональными возможностями, но поддерживающий средства их расширения за счет внешних динамически подключаемых библиотек. Внешние модули являются самостоятельными программными продуктами с реализованными интерфейсами, посредством которых они могут взаимодействовать с основной программой. Модули расширения могут быть реализованы сторонними разработчиками. Для этого нужно воспользоваться набором готовых базовых классов, скомпилировать программу в виде динамически подключаемой библиотеки и поместить ее в соответствующий каталог.

Вся работа с внешними модулями производится на индивидуальной вкладке в области документов, которая внешне ничем не отличается от обычной формы представления объектов БД. После их установки в приложение на панели инструментов появляются соответствующие кнопки вызова.

На текущий момент реализованы модули:

- визуализации результатов вычислений;
- загрузки оптических моделей из текстовых файлов;
- многокритериального поиска экспериментов;
- выгрузки условий и результатов экспериментов в текстовый файл;
- запуска единичных расчетов.

Следует отметить, что непосредственно за расчет радиационных характеристик отвечает не имеющее графического интерфейса стороннее приложение. Этот вычислительный модуль получает входные данные из текстового файла, а после завершения вычислений формирует файл с результатами. Для клиентского приложения создан модуль расширения, который позволяет выгрузить данные выбранного численного эксперимента в текстовый файл, запустить вычислительную программу, а после завершения ее работы загрузить результаты расчетов в БД. Строго говоря, такая программа может быть реализована в виде динамически подключаемого модуля, который напрямую будет получать и сохранять данные в БД.

При создании программного продукта использовался язык программирования C++. Графический интерфейс пользователя, а также блок взаимодействия клиентского приложения с СУБД MySQL [9] реализован с использованием библиотеки QT v 4.4.2 [10].

## 5. Встроенные модельные данные

На сегодняшний день ИВС «SoRad» содержит следующие — необходимые для проведения радиационных расчетов — данные.

Вертикальные профили коэффициента ослабления, альbedo и индикатрисы однократного рассеяния аэрозоля соответствуют профилям модели WMO, предложенной Рабочей группой по стандартной радиационной атмосфере (континентальный, индустриальный и морской типы аэрозоля) [11]. Для расчета характеристик молекулярного рассеяния могут быть использованы вертикальные профили температуры и давления атмосферы модели лета средних широт [12] и модели стандартной атмосферы США [13]. Типы подстилающей поверхности и соответствующие им значения альbedo ПП взяты из модели [14].

Оптические характеристики локальных облачных образований разных видов (слоистых, кучевых, слоисто-кучевых и т.д.) задаются с использованием моделей WMO [11], OPAC (Optical Properties of Aerosols and Clouds) [15] и MODTRAN [16]. Для определения оптических характеристик *протяженного* объекта предусмотрено использование модели перистых облаков [11]. Оптические характеристики аэрозоля и облаков, а также альbedo ПП определены для спектральных интервалов {340, 380, 440, 500, 675, 870 и 1020 нм}, которые соответствуют основным спектральным каналам современных солнечных фотометров (в частности, действующего в сети AERONET солнечного фотометра CE-318 [17]).

В соответствии с принятой при разработке системы идеологией представленные в «SoRad» данные по мере необходимости могут быть дополнены новыми моделями независимо от хранимой в БД информации.

### Заключение

Разработана информационно-вычислительная система «SoRad» для исследования спектрально-угловых характеристик солнечной радиации. ИВС позволяет накапливать результаты расчетов и обеспечивает доступ к ним через систему поиска, а заложенная при создании архитектура ИВС существенно расширяет функциональные возможности продукта и упрощает коллективную работу по его развитию. Кроме того, поддержка модулей расширения позволяет решать широкий круг задач, не прибегая к изменениям программного кода основной программы.

Созданная система позволяет производить одно-временный расчет множества экспериментов на разных ПК, сохраняя исходные данные и результаты вычислений в одной БД, что значительно сокращает время проведения массовых численных экспериментов. Использование реляционной БД в качестве хранилища упростило задачу анализа данных: появилась возможность сравнивать результаты экс-

периментов, проверять пересечение входных параметров или количественно оценивать расстояние между ними.

Заложенные в программный продукт свойства характеризуют его как гибкий и функциональный инструмент для проведения научных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-31007 мол\_а), государственных контрактов № 02.740.11.0674 и 14.740.11.0204.

1. Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б. Восстановление индикатрисы и альbedo однократного рассеяния аэрозоля по данным радиационных измерений в альмукантарате Солнца: численное моделирование // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 2. С. 128–138.
2. Dubovik O., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 16. P. 20673–20696.
3. Marshak A., Knyazikhin Y., Evans K.D., Wiscombe W.J. The «RED versus NIR» plane to retrieve broken-cloud optical depth from ground-based measurements // J. Atmos. Sci. 2004. V. 61, iss. 15. P. 1911–1925.
4. Фирсов К.М., Чеснокова Т.Ю., Козодоева Е.М., Фазлиев А.З. Распределенная информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация» // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 5. С. 364–370.
5. Перенос радиации в рассеивающих и поглощающих атмосферах. Стандартные методы расчета / Под ред. Ж. Ленобль. Л.: Гидрометеонаиздат, 1990. 262 с.
6. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Под ред. Г.И. Марчука. Новосибирск: Наука, 1976. 283 с.
7. Назаралиев М.А. Статистическое моделирование радиационных процессов в атмосфере. Новосибирск: Наука, 1990. 226 с.
8. Журавлева Т.Б., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М., Сакерин С.М. Особенности угловых характеристик диффузной солнечной радиации в малооблачной атмосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 8. С. 777–786.
9. Кузнецов М., Симдянов И. MySQL 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 1024 с.
10. Шлее М. Qt 4, профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 863 с.
11. A preliminary cloudless standard atmosphere for radiation computation. World Climate Research Programme. WCP-112. WMO/TD N 24. 1986. 60 p.
12. Anderson G., Clough S., Kneizys F., Chetwynd J., Shettle E. AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0–120 km). Air Force Geophysics Laboratory. AFGL-TR-86-0110 // Environ. Res. Papers. 1986. N 954. 25 p.
13. International Civil Aviation Organization. Manual of the ICAO Standard Atmosphere (extended to 80 kilometers (262 500 feet)). Doc 7488-CD. Third Edition. 1993. ISBN 92-9194-004-6.
14. Hook S.J. ASTER Spectral Library: Johns Hopkins University (JHU) spectral library; Jet Propulsion Laboratory (JPL) spectral library; The United States Geological Survey (USGS-Reston) spectral library, 1998. Dedicated CD-ROM. Version 1.2 (<http://speclib.jpl.nasa.gov>).

15. Hess M., Koepke P., Schult I. Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1998. V. 79, N 5. P. 831–844.
16. Abreu L.W., Anderson G.P. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model. Prepared by Ontar Corporation for PL/GPOS (1996).
17. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenue F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. V. 66. P. 1–16.

*S.Yu. Andreev, T.V. Bedareva.* **Information-calculating system for studying spectral-angular characteristics of solar radiation.**

An information-calculating system (ICS) «SoRad» for studying spectral-angular characteristics of solar radiation is presented. The structure and the principal objectives of the ICS, the model of the atmosphere for radiative calculations, and the relational data model developed in this subject field are described. The paper also contains the description of the client application interface, its functions, the algorithm for data base filling by means of the application. The questions about information system functionality development by external dynamic link library are discussed. The calculated and systematized data may provide the basis for different studies.