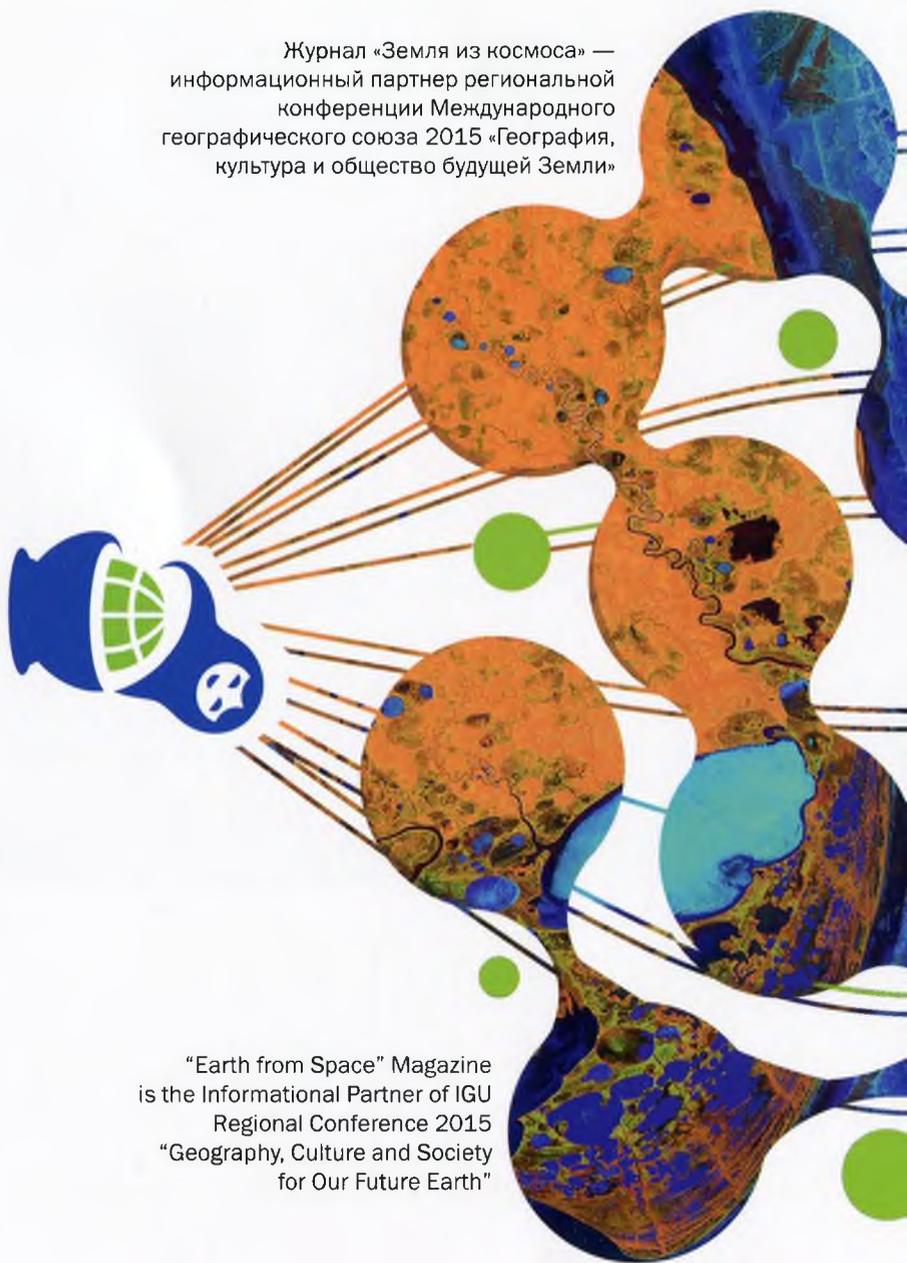


Журнал «Земля из космоса» —  
информационный партнер региональной  
конференции Международного  
географического союза 2015 «География,  
культура и общество будущей Земли»

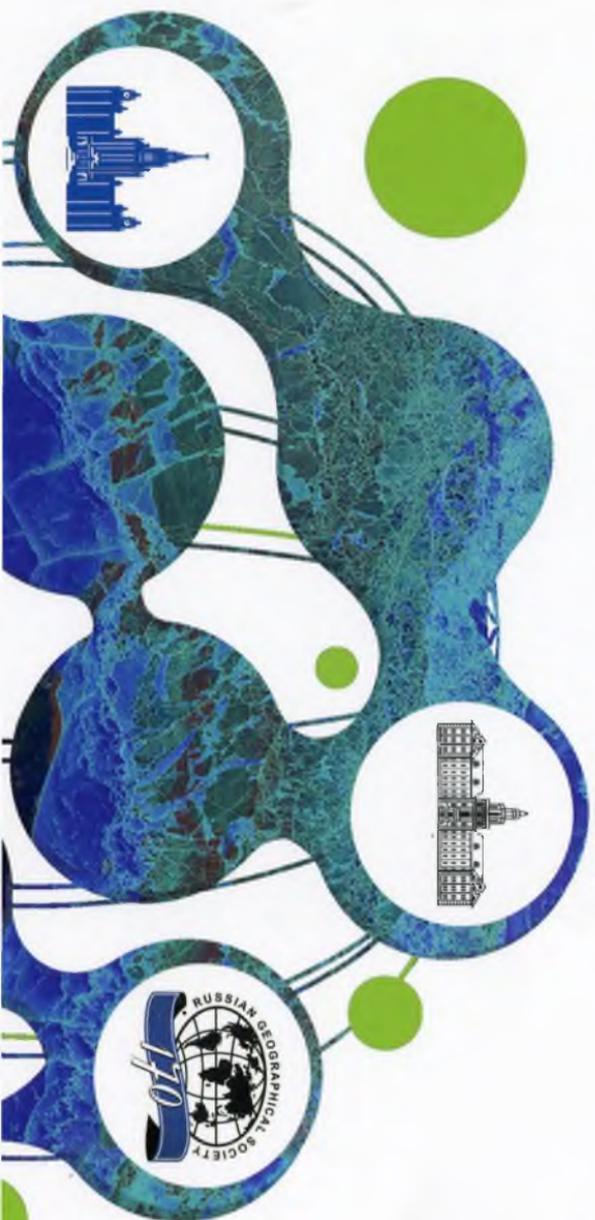
IGUmoscow2015



“Earth from Space” Magazine  
is the Informational Partner of IGU  
Regional Conference 2015  
“Geography, Culture and Society  
for Our Future Earth”



# ЗЕМЛЯ ИЗ КОСМОСА EARTH FROM SPACE



# СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

**Денис  
Айбулатов**

К.Г.Н., Н.С., КАФЕДРА ГИДРОЛОГИИ СУШИ,  
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ, МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

**Леонид  
Зотов**

К.Ф.-М.Н., С.Н.С., ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМ. П.К. ШТЕРНБЕРГА, МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

**Наталья  
Фролова**

Д-Р ГЕОГР. НАУК, ПРОФЕССОР, КАФЕДРА  
ГИДРОЛОГИИ СУШИ, ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ, МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

**Сергей  
Чалов**

К.Г.Н., С.Н.С., КАФЕДРА ГИДРОЛОГИИ СУШИ,  
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ, МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

Многолетний опыт использования на кафедре гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова данных дистанционного зондирования (ДЗ) показал их высокую информативность и эффективность при решении самых разнообразных глобальных и локальных гидрологических задач. Они могут быть чрезвычайно полезны при определении состояния водных объектов разного масштаба, параметризации различных характеристик речного стока с целью выделения диапазонов их изменения, соответствующих опасным гидрологическим явлениям, оценке влияния изменений климата на водные ресурсы и характер гидрологических процессов.

## Введение

Изучение гидрологических процессов с помощью дистанционных методов началось в нашей стране в 50–70-е годы XX в. В данной работе приведены примеры использования космических снимков специалистами кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова для различных водных объектов и гидрологических процессов и явлений.

## Дистанционное определение характеристик речных потоков

*Определение расходов воды.* Большие возможности применения дистанционных методов связаны с использованием их для оценки расходов воды. Для этого на космических снимках предельно точно оценивается расположение боковых

границ водной поверхности потока и площадь водного зеркала Фвп. Применение этих технологий оказалось наиболее эффективно для участков разветвленных русел, где распределение расходов воды по рукавам во многих случаях может быть исследовано только на основе специальных моделей [1].

*Исследование качества речных вод.* Дистанционный мониторинг качества речных вод — исключительно перспективное направление. В основе большинства дистанционных методов определения оптических характеристик водных объектов (например, мутности оптической  $T$ , НТУ и весовой  $s$ , мг/л) лежат их эмпирические соотношения с показателями яркости водной поверхности  $DN$  и ее производными

(коэффициентом спектральной яркости  $Li$  и спектральной отражательной способностью  $\rho^*$ ):

$$X(DN, Li, \rho^*) = f(T, s, \dots)^{(1)}$$

Каждая элементарная ячейка изображения (пиксель) характеризуется яркостными значениями, которые пересчитываются в коэффициенты спектральной яркости, зависящие от содержания в воде взвешенных частиц. Различная отражательная способность чистой воды и воды, содержащей твердые взвешенные частицы, дает возможность количественно оценить мутность по космическим снимкам. Регрессионные зависимости связывают оптическую мутность со значениями коэффициентов спектральной яркости одного спектра:

$$s_{sc} = f(Li_\lambda)^{(2)},$$

где  $Li_\lambda$  — коэффициент спектральной яркости, полученный в спектре с длиной волны  $\lambda$ . Для этой цели можно использовать и мультиспектральные регрессии:

$$s_{sc} = f(Li_{\lambda_1}, Li_{\lambda_2}, \dots, Li_{\lambda_n})^{(3)},$$

где  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  — длина волн различных спектров, используемых конкретной аппаратурой.

Дистанционные методы позволили получить карты полей мутности воды на участках рек бассейна р. Селенги и охарактеризовать распределение мутности и расходов взвешенных наносов в водотоках дельты и узлах слияния рек. На этой основе нами исследована структура зон смешения речных вод ниже узлов слияния р. Селенги и ее крупнейших притоков в разные фазы водного режима (рис. 1). Обнаружен гидродинамический эффект разветвленных русел, связанный с замедлением перемешивания водных масс и удлинением зон смешения. Показаны количественные характеристики маргинального эффекта дельты Селенги,

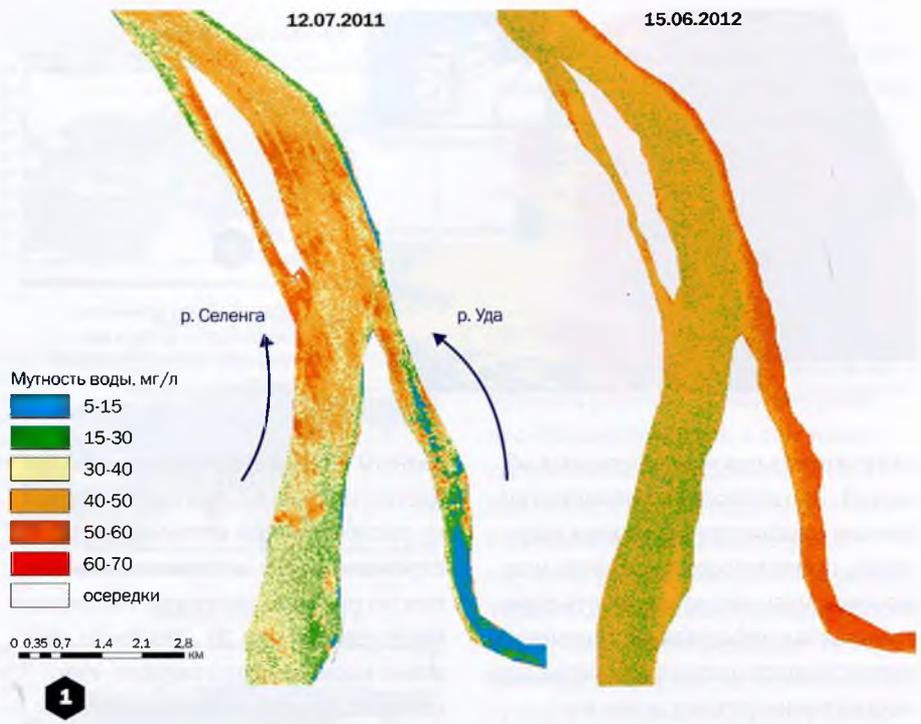


Рис. 1. Распределение мутности воды в узле слияния р. Селенги и р. Уды

в частности продольное уменьшение мутности речных вод в 2–3 раза и осаждение более 50% от суммарного стока взвешенных наносов, поступающего к вершине дельты.

### Исследование устьевых процессов

Космическая съемка позволила изучать эти сложные процессы в условиях дефицита гидрологической информации и труднодоступности территорий. Получаемая при этом информация необходима для изучения всех видов устьевых процессов, включая их опасные проявления.

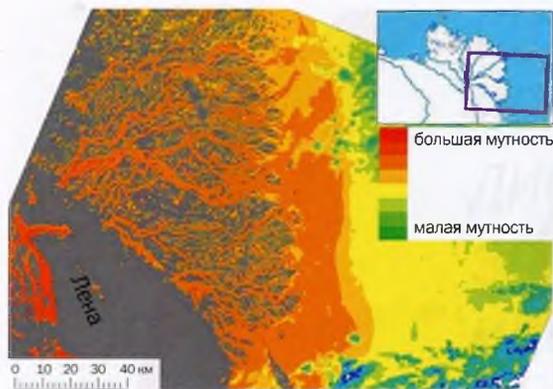
Она необходима для уточнения границ устьевых областей и их морфометрических характеристик. Появление высокоточной космической съемки, современных цифровых моделей рельефа на базе дешифрированных снимков (SRTM), в комбинации с картографическим материалом и наземными изысканиями, позволяет уточнить границы

основных элементов устьевых областей рек: собственно дельты, устьевое взморье, придельтовый участка реки, местного водосбора [2].

Космические методы исследований позволяют изучать динамику морского края дельты. Анализ динамики морского края дельт особенно актуален для рек, впадающих в водоемы с колеблющимся уровнем. Для этого производится совмещение разновременных карт и снимков.

Многорукавные дельты рек имеют сложную, изменяющуюся во времени структуру дельтовых водотоков. Определение параметров структуры водотоков (их количество, число узлов разветвлений и слияний, уровней делений, густоту) по картам практически невозможно.

Русловые деформации в дельтах рек изучают дистанционными методами по тем же методикам, что и



2

Рис. 2. Зоны изменения мутности воды в восточной части устьевой области р. Лены

для участков рек выше устьевых областей. Это позволяет выявлять тенденции в развитии дельтовых водотоков, признаки их отмирания или активизации, направленность горизонтальных деформаций, оценивать интенсивность размыва берегов или аккумуляции речных наносов.

Заливание дельтовых пространств при прохождении половодья, паводков, нагонах, заторах и заторах — один из наиболее сложных устьевых процессов. Он исключительно трудоемок и сложен в отношении определения его количественных характеристик. Для некоторых дельт России (р. Волга и др.) изучение процесса раньше осуществлялось на основе аэрофотосъемки, аэровизуальных и натурных исследований. В настоящее время такие работы практически не проводятся и все более широко используются космические методы. Получаемые при этом результаты — единственный способ оперативного получения количественных и достаточно точных сведений о затоплениях дельт.

Одним из наименее изученных процессов в устьях рек является трансформация мутности от вершины дельт к устьевому взморью. Методы дистанционного зондирования, способные регистрировать отличия в спектральной яркости между речной и морскими водами с

разным содержанием взвешенных частиц позволяют получать картину распределения мутности по пространству дельт, а также ее изменения на разном удалении от морского края дельты (рис. 2). Для этого, помимо космических снимков, нужно иметь подспутниковые (фактические) измерения мутности воды. Они необходимы для обоснования зависимостей спектральной яркости мутной воды от ее величины, последующего их использования для решения обратных задач: определения мутности по величине спектральной яркости. При отсутствии фактических значений мутности можно использовать соотношение между яркостными характеристиками снимков и изменяющимися расходами воды в вершине дельты. При наличии однозначной связи между мутностью и расходами воды возможен переход к искомым значениям мутности воды в других районах дельты и устьевому взморью.

#### Оценка характеристик водного баланса речных бассейнов

Для решения этой задачи используется мало распространенный у нас в стране метод измерения временных вариаций поля силы тяжести с помощью спутниковой системы GRACE (Германия — США) [4]. Конструктивно она состоит из двух спутников, летящих на расстоянии  $220 \pm 50$  км по одной и той же низ-

кой орбите (около 500 км). Изменяемое между спутниками расстояние является исходной величиной, содержащей информацию о гравитационном поле. Исследования показали, что месячные изменения гравитационного поля Земли на суше в значительной степени могут быть отнесены к движению водных масс внутри континентальной части гидрологического цикла. В настоящее время проект GRACE выполняет на основе спутниковых технологий глобальные наблюдения за изменением запасов воды в месячных интервалах и с пространственным разрешением от уровня крупных речных бассейнов ( $> 200\,000$  км<sup>2</sup>) до континентов. Месячные изменения запасов воды на суше, полученные GRACE, позволили рассчитывать важнейшие составляющие гидрологического цикла, включая суммарное испарение, сток, осадки минус испарение ( $P - E$ ), изменения запасов подземных вод, а также, что наиболее важно, невязку водного баланса в различных масштабах.

Обработанная нами гравиметрическая информация представлена в виде данных об эквивалентном уровне воды и их аномалий (рис. 3). Можно проследить сезонный и многолетний ход запасов влаги в бассейнах рек, выделить экстремальные гидрологические ситуации (например, значительное снегонакопление весной 2013 г. на Европейской территории России, маловодье 2010 и 2014 гг. в бассейне Волги и др.; наводнение на Амуре и предшествующие ему высокие запасы воды после весеннего половодья). Полученные данные хорошо согласуются с полями аномалий сезонной и месячной температуры приземного воздуха и данными по стоку рек. Точная физическая интерпретация полученных сигналов со спутников требует сравнения

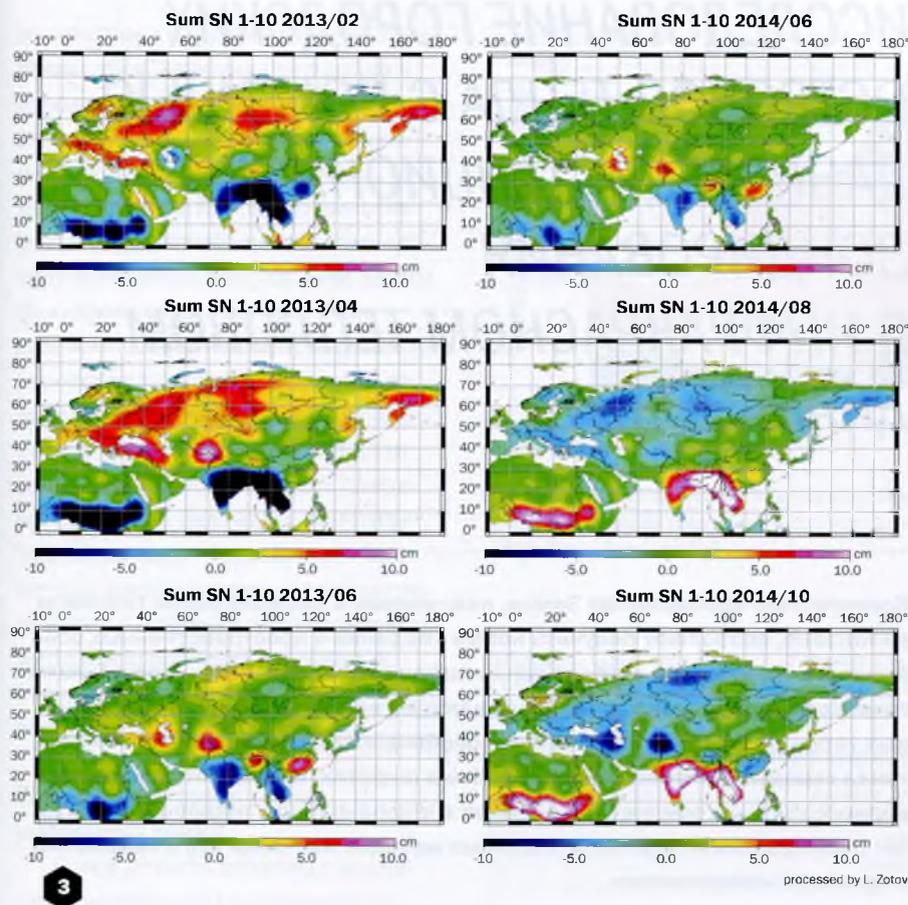


Рис. 3. Ежемесячные карты аномалий общего влагозапаса по данным GRACE для февраля, апреля, июня 2013 г. и июля, августа, октября 2014 г. Виден избыток масс весной 2013 г. и недостаток осенью 2014 г.

с гидрологическими моделями (GLDAS, WGHM) и наземными наблюдениями. Как данные предшествующих исследователей [3], так и наши оценки изменений запасов воды по методу GRACE показали их хорошую согласованность с гидрологическими моделями поверхности суши.

### Выводы

Дистанционное определение гидрологических характеристик рек (расходов и уровней воды, мутности, содержания в воде цветной органики) позволяют на основе данных ДЗЗ получать ряды косвенной гидрологической информации для участков рек, неизученных в гидрометрическом отношении.

При изучении дельт в современных условиях наиболее эффективным видится применение дистанционных методов из-за трудности исследования территорий, их малоизученности и недостатка натуральных данных. Для изучения динамики морского края дельты, русловых процессов, динамики гидрографической сети, структурных ее особенностей достаточно визуального дешифрирования с применением простейших функций автоматической обработки панхроматических снимков. При исследовании более сложных процессов (заливание дельт, плюмы и др.) наилучшим способом зарекомендовали себя методы компьютерного автоматического дешифрирования спектральных

снимков в специализированных программах обработки космической информации. При наличии наземных наблюдений лучше применять методы классификации процессов с обучением по реперным точкам.

Для больших по площади территорий спутниковая гравиметрия представляет важный источник получения разнообразной геофизической информации, в том числе гидрологической. Данные GRACE могут быть использованы для оценки изменения водных ресурсов крупных речных бассейнов и территорий под влиянием климатических и антропогенных факторов. Дистанционная информация хорошо согласуется с данными гидрологических моделей и натурными измерениями величины речного стока для отдельных периодов времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 14-17-00155).

### Список литературы:

1. Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвленного русла. М.: Географический факультет, 2009. 240 с.
2. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
3. Frappart F., Do Minh K., L'Hermitte J., Cazenave A., Ramillien G., Le Toan T. and Mognard-Campbell N. Water volume change in the lower Mekong basin from satellite altimetry and imagery data // *Geophysical Journal International*. 2006. 167 (2). Pp. 570–584, doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03184.x.
4. Zotov L., Shum C., Frolova N. Gravity changes over Russian rivers basins from GRACE. In book: *Planetary Exploration and Science: Recent Results and Advances*. Springer Geophysics. 2015. Pp. 45–59.