

УДК 551. 4 : 528.94 (571.63)

Э. Х. КАМИНСКАЯ, В. А. ЧЕРВЯКОВ

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРТОГРАФО-СТАТИСТИЧЕСКОГО
МЕТОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГУСТОТЫ
РЕЧНОЙ СЕТИ ПРИМОРЬЯ**

Показана возможность изучения связи густоты расчленения рельефа с величиной стока при помощи вычисляемых по картам пространственных статистик и составления карт взаимосвязи. Дается количественная оценка влияния стока на густоту гидросети в пределах различных орографических районов Приморья. Указывается на необходимость решения ряда картографических проблем для повышения надежности получаемых результатов.

Постановка вопроса

Густота речной сети — один из важнейших интегральных показателей комплекса физико-географических и геологических условий территории.

Познанию взаимосвязей густоты речной сети с различными природными факторами — осадками, тектоническими движениями, литологическими особенностями пород, выходами подземных вод и др. — посвящено большое количество работ (Борсук и др., 1966; Воскресенский, 1962; Литвин, 1968; Сизиков, 1969; Симонов и др., 1969; Спасская, 1969; Федина, 1966; Философов 1967; Хортон, 1948; Четвертков, 1968; Carlston, 1963; Coates, 1967; Williams, 1967).

Нам представляется целесообразным применять в такого рода исследованиях картографо-статистический метод, сущность которого состоит в совместном и последовательном использовании картометрии и статистических расчетов (Червяков, 1968а, б). Во многих из перечисленных работ указанный метод в той или иной мере применялся. В рамки картографо-статистического метода укладывается направление, развиваемое в работах А. М. Берлянта (1969), И. В. Бусалаева (1966), А. Н. Важнова (1969) и др.

Цель настоящей статьи — показать возможности изучения густоты речной сети с помощью пространственных статистик (главным образом показателей тесноты связей), вычисляемых по данным карт или же вновь картографируемых. Необходимо отметить, что если статистическое обобщение временных рядов производится уже давно, то пространственные статистики вычисляются и картографируются пока довольно редко, хотя целесообразность их применения при сравнительно-географическом анализе очевидна. Методика вычисления пространственных корреляций хорошо описана Ю. А. Мещеряковым и Л. Е. Сетунской (1960) и дополнена Д. Л. Армандом и Е. А. Дмитриевым (1966). Приемы же составления и анализа карт пространственных корреляций в отечественной литературе до сих пор не освещены. Поэтому рассматриваемый в нашей статье вопрос картографирования коэффициентов корреляции может оказаться полезным широкому кругу географов.

Особенности интерпретации показателя стока при изучении пространственных корреляций

В данной работе с помощью корреляционного анализа по картам исследуется роль стока в распределении и отчасти в формировании густоты речной сети Приморья. Теоретической предпосылкой целесообразности изучения связи между этими показателями явилось известное положение: густота речной сети — функция суммарного стока за период, соизмеримый с геологическим временем. Однако фактическими данными о распределении в пространстве и времени интегрального стока за время формирования водосборных бассейнов в Приморье мы не располагаем. Приходится оперировать показателем современного стока — модулем стока, полагая, что для вычисления пространственных статистик он может быть достаточно репрезентативным. Попытаемся обосновать возможность такой замены. Известно, что при расчете коэффициента корреляции равное кратное изменение чисел коррелируемых рядов не влияет на величину корреляции. Модуль стока отдельных районов может представлять интегральный сток, уменьшенный в определенной пропорции, при условии, что территориальная дифференциация стока за весь период формирования речной сети была относительно стабильной и сходной с современным распределением стока. Заложение эрозийной сети Приморья произошло в основном в послескладчатый — послесенонский период (Граменицкая, 1965), следовательно, современный модуль стока при указанных условиях может быть показателем суммарного стока за кайнозой. Ряд фактических материалов подтверждает относительную неизменность степени увлажнения физико-географических районов края за этот временной промежуток. В частности, на относительную стабильность пространственного распределения режима увлажнения в кайнозое в пределах всего материка Евразии указывает В. М. Сеницын (1965). Он отмечает при этом, что территориальная дифференциация Приморья по режиму увлажнения (восточный склон Сихотэ-Алиня, Приханкайская равнина) наметилась в раннем мелу. Поскольку «сходство рельефа мезозой с новейшим проявилось не только в общем орографическом плане, но и в гипсометрическом уровне, который был близок к современному» (Сеницын, 1965, стр. 16), можно предположить, что территориальная дифференциация увлажнения в Приморье была сходной с современной на протяжении всего кайнозоя.

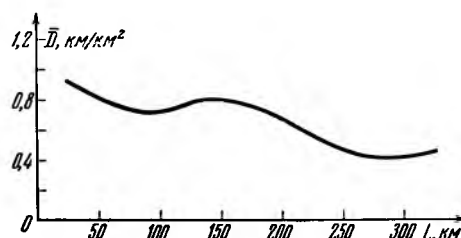
Таким образом, приведенные работы дают основание считать существующие ныне территориальные различия в характере увлажнения и стока Приморья установившимися в конце мезозоя; изменения за последующее время должны быть однонаправленными и синхронными для всего региона. Эти положения позволяют допустить, что пространственные различия в распределении модуля стока аналогичны различиям в распределении суммарного стока по территории за период формирования гидросети. Следовательно, используя известное свойство коэффициента корреляции, мы можем в корреляционных расчетах вместо суммарного стока использовать модуль стока, а полученные показатели связи рассматривать как меру влияния интегрального стока на расчленение территории.

Вычисление и анализ пространственных статистик

В качестве источников количественной информации для корреляционных расчетов были использованы рукописные карты модуля стока Т. Л. Кисельковой и густоты речной сети В. А. Варнина масштаба 1 : 2 500 000, составленные в отделе гидрологии суши ДВНИИГМИ (Владивосток) для бассейна Усури и Японского моря. Обе карты составлены в изолиниях. Карта густоты речной сети составлялась по справочным данным о суммарной длине рек всех (120) водосборных

бассейнов площадью не менее 100 км². По водосборам таких же размеров рассчитывались модули стока на основе использования эмпирических формул связи нормы годового стока со средней высотой водосбора. Теснота связи густоты речной сети со стоком в пределах Приморья определялась следующим образом. Совмещались обе карты и на них накладывалась произвольно сетка квадратов. В точках пересечения линий

Рис. 1. График изменения средней густоты речной сети в Приморье



сетки «снимались» данные о густоте речной сети и модуле стока. Эти данные были сведены в таблицу, с помощью которой был вычислен коэффициент корреляции по схеме для больших выборок¹.

В результате выполненных расчетов оказалось, что коэффициент корреляции (r) между густотой речной сети и модулем стока для всего Приморья равен +0,58. Большой объем выборки ($n=356$) обеспечивал достаточно высокую точность определения тесноты связи, выражаемую средней квадратической ошибкой коэффициента корреляции $m_r = \pm 0,04$. Попутно с коэффициентом корреляции были вычислены средняя густота речной сети в Приморье (\bar{D}) и среднее квадратическое отклонение этого признака (σ). Оказалось, что $\bar{D} \pm \sigma = 0,72 \pm 0,24$ км/км². Значительная вариация густоты расчленения, показателем которой является среднее квадратическое отклонение, объясняется разнообразием природных условий территории. Приморье включает три орографических района — горную страну Сихотэ-Алинь, Ханкайско-Уссурийскую низменность и строги Восточно-Маньчжурских гор, занимающих небольшую площадь на юго-западе. Эти орографические единицы существенно различаются между собой по характеру слагающих их пород, рельефу, степени увлажненности и, как следствие всего этого, по густоте речной сети. Последняя достигает 1,2 км/км² на юго-востоке Сихотэ-Алиня, в то время как к югу от озера Ханка она понижается до 0,32 км/км².

Для изучения закономерностей пространственного распределения густоты эрозионного расчленения коэффициент густоты рассчитывался по отдельным районам Приморья, представляющим собой семь субмеридиональных полос равной ширины, совпадающих по простиранию с направлением береговой линии и оси хребта Сихотэ-Алинь. Это дает возможность в наибольшей мере выявить различия в степени горизонтального расчленения по направлению ее наибольшего изменения — от побережья Японского моря до западной границы края. Анализ графика (рис. 1) показывает закономерное уменьшение густоты гидросети по мере удаления от моря, примерно с востока на запад. Значительное уменьшение густоты речной сети в районе, приуроченном в основном к водоразделу Сихотэ-Алиня (на рис. 1 минимум в левой части графика), отражает известную тенденцию уменьшения данного показателя в горах, начиная с определенного уровня (Воскресенский, 1962; Литвин и Фостикова, 1968 и др.). Некоторое увеличение густоты на крайнем западе связано, по-видимому, с увеличением нормы осадков в районе Восточно-Маньчжурских гор.

Закономерности пространственного изменения показателей тесноты связи между густотой речной сети и величиной стока исследовались нами

¹ Схема описана в работе В. А. Червякова (1966, стр. 64—67).

с помощью карты изокоррелят, составленной по методу А. Робинсона (Robinson, 1962). Совмещались карты густоты речной сети и модуля стока. На эту совмещенную карту накладывалась сетка квадратов (более редкая по сравнению с сеткой, использованной в предыдущих расчетах). В результате вся исследуемая территория была разбита на 31 квадрат. Каждый квадрат делился на девять более мелких квадратов, в углах которых (в 16 контрольных точках) «снимались» данные о густоте речной сети и модуле стока (рис. 2), по которым вычислялись парные

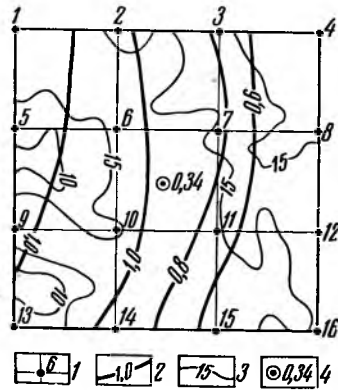


Рис. 2. Размещение контрольных точек в одном из больших квадратов.

1 — контрольные точки в углах малых квадратов; 2 — изоденсы (линии равной густоты речной сети); 3 — изолинии модуля стока; 4 — значение коэффициента корреляции

коэффициенты корреляции. Последние были отнесены к центрам соответствующих больших квадратов и далее проводились изокорреляты обычным методом интерполирования величин между центрами квадратов. На составленной таким путем карте (рис. 3) хорошо вырисовываются положительные и отрицательные формы корреляционного рельефа — гребни, ложбины, депрессии, анализ которых представляет определенный интерес. Густота гидросети — функция стока и теоретически между ними существует прямая связь. Поэтому при анализе статистического рельефа на описываемой карте мы исходили из следующих соображений.

Депрессии — это области обратной связи, т. е. места, где связь между исследуемыми параметрами отсутствует, поскольку другие факторы (рельеф, литологические особенности пород, характер тектонических движений) сводят на нет влияние стока на формирование густоты гидросети.

Гребни — области тесной прямой связи — можно интерпретировать по-разному. Если рельефообразующие процессы влияют на расчленение обратно воздействию стока, большая величина коэффициента корреляции между стоком и густотой речной сети свидетельствует о существовании тесной связи между этими величинами. В случае однонаправленного влияния указанных факториальных признаков выявление связей с помощью парной корреляции ненадежно. Поэтому интерпретацию составленной карты парных коэффициентов следует рассматривать как предварительную.

На карте гребни — области относительно тесной прямой связи (0,7—0,8) приурочены к району Ханкайско-Уссурийской равнины, а также к предгорьям и нижним частям западного склона Сихотэ-Алиня. Следовательно, в этом районе сток может быть ведущим фактором формирования эрозионного расчленения территории. Однако здесь воздействие величины стока и ряда других факторов, влияющих на расчленение, однонаправленно и не способствует интенсивному развитию процессов расчленения. Действительно, данный район по характеру рельефа — в основном низменная равнина, имеющая наименьшие для Приморья значения модуля стока и являющаяся областью преимущественного опускания; все это не благоприятствует развитию густой речной сети (по-

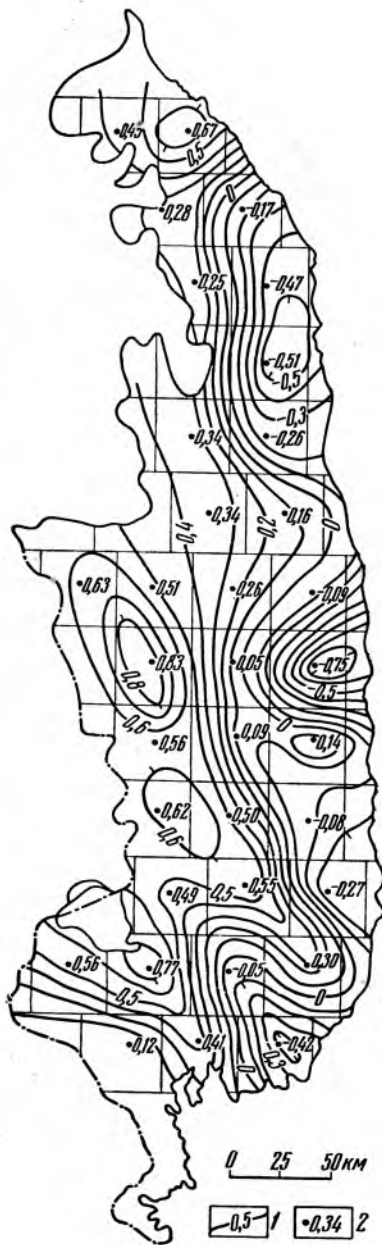


Рис. 3.

Рис. 3. Карта изокоррелят.

1 — изокорреляты; 2 — значения коэффициентов корреляции в центрах больших квадратов

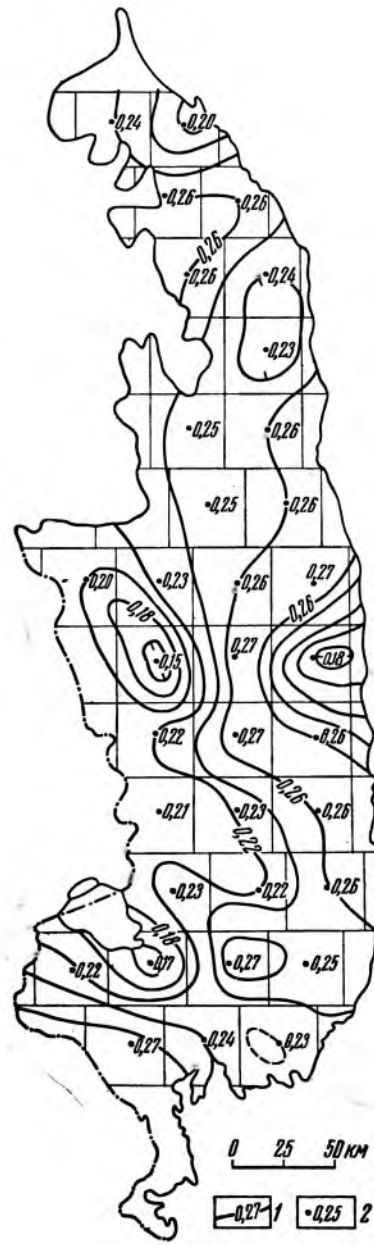


Рис. 4

Рис. 4. Карта изоошибок.

1 — изоошибки (линии равных ошибок коэффициента корреляции); 2 — значения ошибок в центрах больших квадратов

следняя имеет наименьшие для Приморья значения $-0,6-0,3$ км/км²). В этом случае для выявления роли стока в очищенном виде следует вычислять частные коэффициенты корреляции.

Депрессии со значением коэффициента корреляции $-0,5-(-0,7)$ тяготеют в основном к восточным и южным склонам Сихотэ-Алиня.

Поскольку между густотой речной сети и стоком существует теоретически прямая связь, обратная связь между исследуемыми параметрами в данном случае свидетельствует о том, что в расчленении этих районов роль стока невелика.

Нулевая изокоррелянта приурочена преимущественно к водораздельным областям Сихотэ-Алиня. Отсутствие связи между густотой речной сети и стоком, по нашему мнению, следствие разнонаправленного воздействия стока и характера тектонических движений — важнейших факторов, определяющих расчленение территории. С этой стороны, поскольку водораздельные области характеризуются наибольшими в Приморье значениями осадков и стока, мы вправе ожидать здесь интенсивное горизонтальное расчленение. Но оказывается, что оно все же меньше, чем на побережье. С другой стороны, анализируемый район в течение длительного времени является областью интенсивного поднятия, которое, вызывая увеличение глубины вреза долин, сначала способствует возрастанию густоты гидросети до определенного предела, а затем, как указывает С. С. Воскресенский (1962), расчленение относительно уменьшается. По-видимому, интенсивные неотектонические движения в центральном Сихотэ-Алине способствуют относительному уменьшению густоты речной сети, но значительное увлажнение отчасти нейтрализует это влияние. Отсюда — близкая к нулю связь горизонтального расчленения со стоком.

Достоверность результатов

Может возникнуть вопрос — насколько надежны выводы, получаемые в результате применения картографо-статистического метода. Точность пространственных статистик определяется прежде всего объемом выборки и точностью исходных данных, получаемых с карт статистических поверхностей. С этих карт за счет сгущения сети наблюдений можно получить выборку любого объема, отсюда пространственные статистики определяются с любой заданной точностью (Червяков, 1968б). Однако следует иметь в виду, что с увеличением объема выборки увеличивается объем картометрических и вычислительных работ, поэтому необходимо найти в каждом конкретном случае «золотую середину» между стремлением к точности и к ограничению затрат рабочего времени. Сложнее вопрос повышения доверия к карте как источнику точной количественной информации. Если методика составления рельефа на топографических картах разработана хорошо и определена геометрическая точность горизонталей, то этого нельзя сказать об изолиниях многих других природных и социально-экономических явлений (включая и изоденсы). Так, к примеру «рельефы» густоты речной сети Приморья на картах, составленных разными авторами, существенно отличаются друг от друга.

Оба рассмотренных критерия точности — объем выборки и качество исходных карт — особенно важны при составлении карты распределения корреляций. Необходимость вычисления множества коэффициентов корреляции (соответственно количеству больших квадратов) пока требует введения жестких ограничений в количестве наблюдений внутри каждого квадрата, а это приводит к большим ошибкам за выборку. Величина ошибки коэффициента корреляции зависит не только от объема выборки, но и от абсолютной величины коэффициента. При малых выборках ошибка коэффициента корреляции вычисляется по формуле

$$m_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}. \quad (1)$$

Для анализа распределений ошибок коэффициента корреляции по карте были рассчитаны по формуле (1) ошибки в каждой квадратной

ячейке (по 16 точкам). По полученным величинам, отнесенным к центрам больших квадратов, были проведены изолинии равных ошибок (рис. 4). Наиболее точно определены корреляции в местах их высокой абсолютной величины.

Заключение

Успешное использование картографо-статистического метода требует решения ряда проблем. Нужны серьезные работы в области картосоставления и картометрии. Следует улучшить методику составления карт, показывающих распределение явлений способом изолиний, исключив при этом элемент субъективизма, неопределенности. Необходимо полнее использовать возможности современной электронно-вычислительной техники при картосоставлении, сборе и обработке картографической количественной информации. Решение отмеченных задач позволит картографо-статистическому методу выйти из стадии опытной проверки. Однако это, по нашему мнению, не исключает проведения и расширения подобных экспериментов. Они позволят глубже познать многие природные закономерности, могут быть полезными для прогноза явлений, связанных с хозяйственной деятельностью человека, помогут наметить конкретные мероприятия по борьбе с неблагоприятными последствиями этой деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- Арманд Д. Л., Дмитриев Е. А. К вопросу об использовании методов математической статистики в физической географии. Изв. Всес. геогр. о-ва, 1966, т. 98, вып. 1.
- Берлянт А. М. Карты фоновых и остаточных поверхностей и их применение в географических исследованиях.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, геогр., 1969, № 4.
- Борсук О. А., Горунова М. А., Лихачева Э. Л., Симонов Ю. Г. Морфометрические характеристики рельефа и их анализ при геоморфологических исследованиях.— В сб. Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. Чита, 1966, вып. 1 (3).
- Бусалаев И. В. Математико-статистические методы обработки картографических материалов.— Пробл. гидроэнерг. и водн. х-ва. Изд-во АН СССР, 1966, вып. 4.
- Важнов А. Н. К методике картографирования коэффициентов корреляции гидрологических величин.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, геогр., 1969, № 5.
- Воскресенский С. С. Геоморфология Сибири. Изд-во МГУ, 1962.
- Граменицкая Н. А. Роль разрывных нарушений при заложении речных долин в Сихотэ-Алинской складчатой области. В сб.: Вопросы геоморфологии и морфотектоники южной части Дальнего Востока. Изд-во ДВФАН СО АН СССР, Владивосток, 1965.
- Литвин Л. Ф. Опыт количественного анализа факторов, влияющих на линейную эрозию.— Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. геол., 1968, 43, вып. 6.
- Литвин Л. Ф., Фостикова А. Ф. Влияние некоторых ландшафтно-геоморфологических факторов на густоту эрозионного расчленения в бассейне реки Кодори.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, геогр., 1968, № 2.
- Мещеряков Ю. А., Сетунская Л. Е. Приемы количественной характеристики взаимосвязей явлений по картам с помощью коэффициента корреляции.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1960, № 1.
- Сизиков А. И. Анализ планового рисунка долинно-балочной сети при поисках эндогенного оруденения на примере Юго-Восточного Забайкалья.— Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геогр. наук. М., 1969.
- Симонов Ю. Г., Борсук О. А., Горунова М. А., Лихачева Э. А., Нигов Э. А. Анализ морфометрических параметров бассейнов в Забайкалье.— В сб.: Геоморфология, вып. 2, М., 1969.
- Синицын В. М. Древние климаты Евразии. Изд-во ЛГУ. Л., 1965, ч. 1.
- Спасская И. И. Анализ соотношения новейших тектонических движений и расчлененности рельефа в различных климатических условиях.— В сб.: Геоморфология, вып. 2, М., 1969.
- Федина А. Е. Влияние абсолютной высоты на количественные показатели физико-географических компонентов (на примере Северо-Восточного Кавказа).— Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, геогр., 1966, № 4.
- Филосовов В. П. Методика вычисления и геолого-геоморфологическая интерпретация коэффициента расчлененности рельефа.— В сб.: Вопросы морфометрии. Изд-во Саратов. ун-та, 1967, вып. 2.

- Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Л., Изд-во иностр. лит., 1948.
- Червяков В. А. Основы математической статистики в географии. Владивосток, 1966.
- Червяков В. А. О картографо-статистическом методе. Тезисы докл. на Всес. конф. по применению матем. методов в геогр. М., Изд-во МГУ, 1968а.
- Червяков В. А. Картографо-статистические способы определения обобщенных характеристик территорий.— В кн.: Вопросы географии, сб. 77, 1968б.
- Четвертков С. С. Карты порядковой изоплотности гидросети Южной Якутии.— В сб.: Принципы и методы тектон. райониров., тектон. терминолог. Новосибирск, 1968.
- Carlston C. W. Drainage density and streamflow. U. S., Geol. Surv. Prof. Paper, 1963.
- Coates D. R. Drainage density in glaciated terrain (abstr.). Trans. Amer. Geophys. Union, 1967, v. 48, № 1.
- Robinson A. H. Mapping the correspondence of isarithmic maps. Ann. Assoc. Amer. Geographers, 1962, v. 52, № 4.
- Williams R. F. An empirical analysis of drainage network adjustment to precipitation input (abstr.). Trans. Amer. Geophys. Union, 1967, v. 48, № 1.

Дальневосточный государственный
университет

Поступила в редакцию
9.XI.1970

**ON THE USE OF A CARTOGRAPHIC STATISTICAL METHOD FOR STUDYING
THE DENSITY OF THE RIVER SYSTEM IN PRIMORIE**

E. Kh. KAMINSKAYA and V. A. CHERVYAKOV

S u m m a r y

It is possible to study the relation of the density of relief dissection with the volume of runoff by spatial statistics calculated on maps and compilation of correlation maps. Presented is a quantitative evaluation of the influence of runoff on the density of hydrological system within different orographic regions of Primorie. It is necessary to solve a number of cartographic problems in order to increase the reliability of the obtained results.
