

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ УЧЕТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ АМУРСКОГО ТИГРА

М.Д. Райли¹, С.В. Сутырина², И.В. Серёдкин³, Г.Д. Хейвард¹,
Д.Г. Микелл⁴, Д.М. Гудрич⁴, С.В. Баскирк¹

¹Университет Вайоминга, Ларамы, США

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация

³Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация

⁴Общество сохранения диких животных, Владивосток, Российская Федерация -
Нью-Йорк, США

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность природоохранных мероприятий по сохранению редких видов можно оценить только в том случае, если ведется наблюдение за тенденциями численности популяций. Сохранение амурского тигра базируется на точных показателях его численности. Однако получить их довольно сложно, учитывая большую площадь индивидуальных участков тигра, его скрытный образ жизни и особенности местообитаний (густая тайга). В настоящее время наблюдение за популяцией тигра в России ведется с помощью ежегодных учетов на 16 участках мониторинга, распределенных по всему ареалу подвида. Минимальное количество тигров рассчитывается с помощью алгоритма пройденной дистанции и индекса численности, полученного после обработки следовых данных (Микелл и др., 2006; Hayward et al., 2002). Однако статистическая погрешность показателей численности тигра, полученных в результате учетов следов, неизвестна. В последние несколько десятилетий появились новые методы учета, пригодные для мониторинга популяции тигра, которые позволяют оценить статистическую погрешность расчетов.

Целью настоящего исследования являлось определение наиболее статистически надежного метода учета амурского тигра на Дальнем Востоке России, во внимание принимались имеющиеся материально-технические и биологические ограничения, связанные с подобными исследованиями. Сравнению подверглись пять методик учета, использующих метод «отлов–повторный отлов»:

1. Учет с помощью фотоловушек, при котором тигров идентифицируют по уникальному рисунку на шкуре;
2. Учет по образцам шерсти, собранным с установленных на маркировочных деревьях специальных ловушек, удерживающих волосы животного. Тигров идентифицируют по микросателлитной ДНК, полученной из образцов шерсти;
3. Учет по образцам шерсти и экскрементов, собранным различными способами, при котором тигров идентифицируют по микросателлитной ДНК, полученной из этих образцов;
4. Учет с применением кинологической экспертизы, при котором тигров идентифицируют собаки по уникальному запаху экскрементов;
5. Идентификация следов, когда тигров различают по индивидуальным морфометрическим характеристикам следов на снегу.

Затем эти пять методов сравнивали с традиционным учетом следов, чтобы определить их эффективность для оценки численности амурского тигра.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования велись в Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике с июня 2007 г. по июль 2008 г. Сбор данных осуществлялся в четыре этапа, каждый продолжительностью три месяца, в трех основных бассейнах рек заповедника (Серебрянка, Джигитовка и Колумбе). В течение каждого из этапов проводился учет с помощью фотоловушек, учет по образцам ДНК из шерсти с ловушек, учет по образцам ДНК из шерсти и экскрементов и с помощью кинологической экспертизы образцов экскрементов. Морфометрическую идентификацию следов и учет следов проводили только в течение одного зимнего сезона, когда присутствовал снежный покров. Вся территория исследований была разделена на квадраты площадью 49 км² для того, чтобы разместить в них точки для установки фотоловушек и ловушек для сбора шерсти и учетные маршруты (для учета по образцам ДНК из шерсти и экскрементов, кинологической экспертизы образцов экскрементов и морфометрической идентификации следов). Так как средняя площадь участка обитания самки в заповеднике составляет 390 км² (Goodrich et al., 2010a), размер квадратов был достаточен для недопущения пропусков тигров при учете (Karanth, Nichols, 1998; Karanth et al., 2002). Точки и учетные маршруты внутри каждого квадрата проверяли раз в две недели. Учет следов проводился на традиционных учетных маршрутах, заложенных без привязки к какой-либо сетке, но покрывающих все основные бассейны рек на всех трех исследуемых участках заповедника. Учет следов был проведен дважды, каждый раз в течение одной-двух недель.

При сравнении шести методов учета использовались баллы для каждого из трех выделенных критериев:

1. Логистика: физические, культурные или политические препятствия для сбора данных;
2. Статистика: точность, объективность и сложность каждого метода;
3. Стоимость: финансы, время и сотрудники, которые необходимы для сбора и анализа данных.

В рамках этих общих критериев рассматривались различные подкритерии и оценивались баллы для каждого метода (табл. 1).

Таблица 1

Критерии для сравнения методов учета амурского тигра в Сихотэ-Алинском заповеднике

Критерий	Подкритерий	Балл	Примечание
Логистика	Сложность проверки точек и маршрутов	1–4	Расстояние, частота проверки, сезоны
	Географическое покрытие территории исследований	0–100%	Покрываемая территория заповедника по квадратам
	Сложность доставки оборудования	1–4	Вес и количество оборудования
	Сложность установки оборудования	1–4	Время для установки оборудования, проверка работы оборудования
	Непостоянство работы ловушек и персонала	1–4	Степень непостоянства, которая приводит к пропускам в идентификации или к неправильной идентификации
	Сложность метода	1–4	Количество этапов процесса, технические знания, необходимые для выполнения задачи, культурные препятствия для сбора данных

окончание табл. 1

Критерий	Подкритерий	Балл	Примечание
Логистика	Трудности, связанные с бюрократическими процессами	1–4	Усилия, направленные на решение бюрократических вопросов
	Трудности, связанные с получением разрешений	1–4	Усилия, направленные на получение разрешений от государственных и международных структур
Статистика	Точность (CV)	0–100%	Коэффициент вариации (стандартная ошибка / среднее)
	Точность (CI)	кол-во тигров	Ширина 95%-го доверительного интервала (верхняя граница–нижняя граница)
	Точность (вероятность «отлова»)	0–100%	Вероятность «отлова» (вероятность того, что тигр i будет отловлен в период j)
	Систематическая ошибка оценки (равная возможность отлова)	1–4	Степень влияния поведения отдельного тигра или реакции на «ловушку» на вероятность попадания в выборку
	Систематическая ошибка оценки (закрытость популяции)	-5–5	Тест на закрытость популяции в программе CAPTURE
	Систематическая ошибка оценки (поломка полевого или лабораторного оборудования)	1–4	Вероятность неисправной работы и кражи оборудования, неправильная идентификация особей
	Сложность схемы выборки	1–4	Степень интуитивности теории после проведения анализа, простота использования программного обеспечения, используемого для анализа, воспроизводимость метода разными пользователями, наличие в методе исходных допущений
Стоимость	Персонал	кол-во сотрудников	Количество сотрудников, которое необходимо для применения метода исследования
	Стадии анализа	кол-во стадий	Количество этапов, которые необходимо пройти от сбора материала до получения показателей численности
	Запуск проекта	\$	Единовременное приобретение оборудования
	Годовой бюджет	\$	Зарплаты, оплата услуг, ремонт оборудования, покупка оборудования и материалов
	Сбор данных	кол-во дней	Общее количество дней от начала до завершения этапа работы
	Время на проведение анализа	кол-во дней	Общее количество дней, необходимых для определения показателей численности после завершения этапа работы
	Время на получение разрешений и транспортировку образцов	кол-во дней	Общее количество дней, необходимых для получения разрешений и транспортировки образцов

Примечание. Подкритерии с баллами от 1 до 4 относятся к шкале трудности, изменчивости, погрешности или сложности (1 – нет, 2 – небольшой, 3 – умеренный, 4 – значительный уровень).

При сравнении баллов методы были ранжированы от самого эффективного до самого неэффективного по каждому подкритерию (табл. 2, 3). Если применение метода не позволяло получить достаточно данных для расчета балла подкритерия, он считался менее эффективным по сравнению с методами, позволяющими получить достаточно данных для расчетов по данному подкритерию. Поскольку при ранжировании шести методов использовался 21 подкритерий (т.е. получилось 126 оценок), данные для более эффективного сравнительного анализа были объединены. Поэтому рассчитывалось три суммарных показателя. Сначала вычислялся средний балл критерия отдельно для каждого метода, т.е. средний балл был рассчитан для логистики, статистики и стоимости. Затем рассчитывался средний балл для каждого метода, т.е. все баллы подкритериев для логистики, статистики и стоимости были объединены, чтобы получить единый средний балл для каждого метода. И, наконец, рассчитался общий средний балл для всех шести методов в целом. Несмотря на важность каждого отдельного подкритерия, некоторые из них были более значимыми для эффективности метода, чем другие. Баллы были удвоены для пяти подкритериев (сложность метода, трудности в получении разрешений, доверительный интервал (CI), вероятность «отлова» и годовой бюджет).

Таблица 2

Оценка тестируемых методов учета численности амурского тигра в Сихотэ-Алинском заповеднике по подкритериям логистики, статистики и стоимости

Критерий	Подкритерий	Метод					
		ФЛ	ДНКШ	ДНКШЭ	КЭЭ	ИС	УС
Логистика	Сложность проверки точек и маршрутов	2	2	3	3	2	2
	Географическое покрытие территории исследований, %	66,3	66,3	72,4	72,4	72,4	42,8
	Сложность доставки оборудования	4	3	2	2	2	2
	Сложность установки оборудования	3	2	1	1	1	1
	Непостоянство работы ловушек и персонала	3	2	3	3	4	3
	Сложность метода	2	2	4	4	2	2
	Трудности, связанные с бюрократическими процессами	1	1	1	1	1	1
	Трудности, связанные с получением разрешений, %	1	1	4	4	1	1
Статистика	Точность (CV), %	25,5	53,7	26,0	31,4	—	105,8
	Точность (CI), тигров	9	16	9	11	—	—
	Точность (вероятность «отлова»)	36,4	17,9	25,0	25,3	—	—
	Систематическая ошибка оценки (равная возможность отлова)	2	3	1	1	2	1
	Систематическая ошибка оценки (закрытость популяции)	-1,12	-1,12	-0,22	-0,93	—	N/A

окончание табл. 2

Критерий	Подкритерий	Метод					
		ФЛ	ДНКШ	ДНКШЭ	КЭЭ	ИС	УС
Статистика	Систематическая ошибка оценки (поломка полевого или лабораторного оборудования)	2	3	1	1	2	1
	Сложность схемы	2	2	2	2	2	2
	Концептуальная сложность анализа	2	2	2	2	4	4
Стоимость	Персонал	10	10	10	10	10	20
	Стадии анализа	3	3	3	3	4	2
	Запуск проекта, \$	58,020	5 990	1 965	1 960	2 265	0
	Годовой бюджет, \$	26 570	15 235	16 700	15 700	12 515	6 610
	Сбор данных, дни	90	90	90	90	90	18
	Время на проведение анализа, дни	7	10	93	185	11	2
	Время на получение разрешений и транспортировку образцов, дни	0	>1000	>1000	0	0	0

Примечание. ФЛ - фотоловушки; ДНКШ - ДНК из образцов шерсти; ДНКШЭ - ДНК из образцов шерсти и экскрементов ; КЭЭ - кинологическая экспертиза экскрементов ; ИС - идентификация следов; УС - учет следов; -- расчет значений невозможен, N/A – значение в методе не применяется.

Таблица 3

Оценка тестируемых методов учета численности амурского тигра в Сихотэ-Алинском заповеднике по подкритериям на основании баллов, выставленных в табл. 2

Критерий	Подкритерий	Метод					
		ФЛ	ДНКШ	ДНКШЭ	КЭЭ	ИС	УС
Логистика	Сложность проверки точек и маршрутов	1	1	5	5	3	3
	Географическое покрытие территории исследований	4	4	1	1	1	6
	Сложность доставки оборудования	6	5	4	3	2	1
	Сложность установки оборудования	6	5	2	2	2	1
	Непостоянство работы ловушек и персонала	5	1	4	3	6	2
	Сложность метода*	4	1	6	5	3	2
	Трудности, связанные с бюрократическими процессами	1	1	1	1	1	1

окончание табл. 3

Критерий	Подкритерий	Метод					
		ФЛ	ДНКШ	ДНКШЭ	КЭЭ	ИС	УС
Логистика	Трудности, связанные с получением разрешений*	1	5	6	1	1	1
Статистика	Точность (CV)	1	4	2	3	6	5
	Точность (CI)*	1	4	1	3	5	6
	Точность (вероятность отлова)*	1	4	3	2	5	6
	Систематическая ошибка оценки (равная возможность отлова)	5	6	3	3	1	1
	Систематическая ошибка оценки (закрытость популяции)	4	4	2	3	6	1
	Систематическая ошибка оценки (поломка оборудования)	4	6	2	2	5	1
	Сложность схемы	2	3	2	2	2	1
	Концептуальная сложность анализа	2	2	2	2	6	1
Стоимость	Персонал	1	1	1	1	1	6
	Стадии анализа	2	2	2	2	6	1
	Запуск проекта	6	5	3	2	4	1
	Годовой бюджет*	6	3	5	4	2	1
	Сбор данных	2	2	2	2	2	1
	Время на проведение анализа	2	3	5	6	4	1
	Время на получение разрешений и транспортировку образцов	1	5	5	1	1	1

Примечание. Баллы варьируют от 1 (лучший метод) до 6 (худший метод), * – значимость при расчете средних баллов была удвоена. Обозначение методов см. в табл. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из шести методов только три (фотоловушки, идентификация по ДНК из шерсти и экскрементов и учет следов) позволили собрать достаточно данных в течение каждого этапа исследований, в ходе которых они тестировались. Оценить численность с помощью кинологической экспертизы экскрементов было возможным только на трех из четырех этапов исследования, с помощью ловушек для шерсти – на одном из четырех этапов, с помощью идентификации следов по морфометрическим характеристикам – ни на одном этапе (выполнен только один этап) (табл. 4). В целом самый большой объем выборки был получен в результате учета следов, затем по степени полноты выполненных исследований следуют фотоловушки, идентификация по ДНК из шерсти и экскрементов и кинологическая экспертиза экскрементов. Меньше всего данных было собрано в ходе применения ловушек для шерсти и идентификации по морфометрическим характеристикам следов.

Средние общие баллы отдельных методов, если сравнивать их с совокупным средним баллом для всех методов, указывают на то, что самым пригодным методом

Таблица 4

Количество случаев обнаружения тигров и выборка (N) по каждому тестируемому методу в течение каждого этапа исследований в Сихотэ-Алинском заповеднике

Метод	Лето		Осень		Зима		Весна		Максимум	
	Обна- ружено тигров	N	Обна- ружено тигров	N	Обна- ружено тигров	N	Обна- ружено тигров	N	Обна- ружено тигров	N
Учет следов ¹	-	-	-	-	54	39	-	-	54	39
Фотоловушки ²	49	26	37	21	24	12	41	16	49	26
Идентификация ДНК из шерсти и экскрементов ³	18	13	9	7	32	21	34	9	32	21
Кинологическая экспертиза экскрементов ³	18	10	0	0	30	18	14	2	30	18
Идентификация ДНК из шерсти ³	0	0	5	4	0	0	0	0	5	4
Идентификация следов ⁴	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1

Обнаружение тигров: ¹ – пересечение тигром учетного маршрута, ² – посещение фотоловушки, ³ – образец экскрементов или шерсти, ⁴ – группа следов; N: ¹ – количество учетных маршрутов или ², ³, ⁴ – количество «отловов-повторных отловов» тигров в течение этапа исследований (основано на истории отловов, составленной по итогам двухнедельных выборочных периодов). Максимальное количество случаев обнаружения и максимальная выборка за один этап исследований для каждого метода показаны в колонке «максимум».

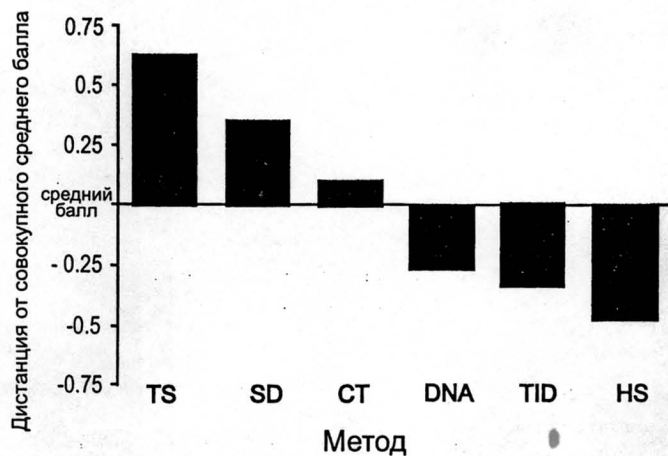


Рис. 1. Дистанция от среднего балла каждого метода до совокупного среднего балла по всем методам, использованным для оценки численности амурского тигра в Сихотэ-Алинском заповеднике (дистанция = средний балл тестируемого метода – совокупный средний балл по всем методам)

Положительные значения указывают на то, что средний балл тестируемого метода выше среднего совокупного балла по всем методам, отрицательные значения указывают на то, что средний балл тестируемого метода ниже среднего совокупного балла по всем методам.

TS – учет следов; SD – кинологическая экспертиза экскрементов; CT – фотоловушки; DNA – идентификация ДНК из шерсти и экскрементов; TID – идентификация следов по морфометрическим характеристикам; HS – идентификация ДНК из образцов шерсти

является учет следов, в меньшей степени – учеты с помощью кинологической экспертизы экскрементов и фотоловушек. Их средние баллы оказались выше, чем совокупный средний балл для всех методов. Идентификация по ДНК из шерсти и экскрементов, идентификация по образцам ДНК из шерсти с ловушек и идентификация следов по морфометрическим характеристикам имели средний балл ниже совокупного среднего балла для всех методов (рис. 1). Несмотря на полученные результаты, средние баллы для логики, статистики и стоимости для каждого метода указывают на то, что высокоэффективные методы могут не отвечать одному или нескольким из этих критериев. Ни один из протестированных методов не

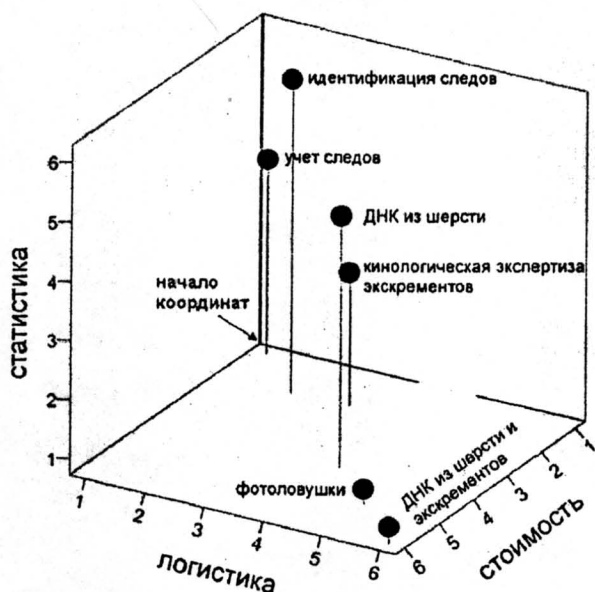


Рис. 2. Оценка тестируемых методов по критериям (логистика, статистика и стоимость). Методы, которые расположены вблизи начала координат, являются более эффективными, чем находящиеся дальше от начальной точки

время некоторые методы более пригодны для мониторинга популяции амурского тигра, чем другие. Метод идентификации следов по морфометрическим характеристикам является малоприменимым из-за трудности сбора достаточного количества образцов. Снег как субстрат очень изменчив, а идентификация следов основана на том, что субстрат остается неизменным на всей территории в течение всего периода исследований. Метод идентификации тигров по ДНК из образцов шерсти также оказался малоприменимым из-за недостаточного объема выборки. Тигры плохо реагировали на ловушки для шерсти, обработанные пахучей приманкой, которая в эксперименте, проведенном с тиграми в неволе, вызывала реакцию потирания головой. В результате с таких ловушек было собрано небольшое количество образцов шерсти.

Остальные методы можно применять для мониторинга популяции амурского тигра с учетом определенных обстоятельств. Метод идентификации тигров по ДНК из образцов шерсти и экскрементов является статистически надежным, однако проблема заключается в отсутствии местной лаборатории, где можно было бы проводить анализ ДНК. Кроме того, в ходе данного исследования сбор экскрементов был непостоянным из-за большого различия между количеством образцов, собранных разными учетчиками. Кинологическая экспертиза экскрементов также является достаточно статистически надежным методом и требует меньше финансовых затрат, чем анализ ДНК. Однако для его применения также нужны сторонние специалисты, и его эффективность зависит от количества собранных образцов. Учет следов не требует больших затрат и легко выполним. В то же время по сравнению с другими тестируемыми методами он менее точен. Это серьезный недостаток, поскольку метод не позволяет получить точные показатели численности тигра. Использование фотоловушек является статистически надежным методом и может выполняться силами местных специалистов. Исследователи могут устанавливать фотоловушки, собирать данные и оценивать численность тигров самостоятельно, не прибегая к помощи большого количества людей. Однако этот метод требует больших финансовых затрат.

Более точные показатели численности амурского тигра можно получить, применяя схему двойной выборки (Cochran, 1977; Thompson, 1992), т.е. использовать

получил высшие баллы по всем трем критериям (рис. 2). Учет следов и идентификация следов по морфометрическим характеристикам пригодны с точки зрения логистики и стоимости, но неэффективны с точки зрения статистики. Фотоловушки и идентификация по ДНК из шерсти и экскрементов очень эффективны с точки зрения статистики, но малоприменимы с точки зрения логистики и стоимости. Идентификация ДНК из образцов шерсти с ловушек и кинологическая экспертиза экскрементов оказались средними по эффективности по всем критериям.

Обсуждение

Все рассмотренные методы позволяют получить оценку численности тигра. Однако сравнительный анализ показал, что в настоящее

традиционный учет следов на снегу в сочетании со статистически надежным методом «отлов–повторный отлов», таким как учет с помощью фотоловушек. Учет следов на 16 участках мониторинга необходимо продолжать ежегодно. Одновременно проведение учета с помощью фотоловушек можно чередовать на отдельных участках мониторинга на основе 5–10-летнего цикла. Относительные показатели численности, полученные в ходе учетов следов, будут сопоставляться с абсолютными показателями, полученными с помощью учета фотоловушками. Сочетание этих двух методов предоставит больше информации о тенденциях в популяции тигра, чем любой другой метод, используемый отдельно.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность А.А. Астафьеву и М.Н. Громыко (Сихотэ-Алинский заповедник), Обществу сохранения диких животных и Университету штата Вайоминг за техническую и административную поддержку. Мы признательны всем учетчикам за помощь в сборе материала. Финансирование данного проекта было осуществлено следующими организациями: Rufford Small Grants, US Forest Service International Programs, Global Forest, Oregon Zoo, Kaplan Awards, Wildlife Conservation Society, Idea Wild, Calvin Klein, Four Paws.

ЛИТЕРАТУРА

Микелл Д.Дж., Пикунов Д.Г., Дунишенко Ю.М., Арамилев В.В., Николаев И.Г., Абрамов В.К., Смирнов Е.Н., Салькина Г.П., Матюшкин Е.Н., Мурзин А.А. Теоретические основы учета амурского тигра и его кормовых ресурсов на Дальнем Востоке России. Владивосток: Дальнаука, 2006. 183 с.

Cochran W.G. Sampling techniques. New York, USA: John Wiley and Sons, 1977.

Goodrich J.M., Miquelle D.G., Smirnov E.N., Kerley L.L., Quigley H.B., Hornocker M.G. Spatial structure of Amur (Siberian) tigers (*Panthera tigris altaica*) on Sikhote-Alin Biosphere Zapovednik, Russia // J. Mammal. 2010. Vol. 91. P. 737–748.

Hayward G.D., Miquelle D.G., Smirnov E.N., Nations C. Monitoring Amur tiger populations:

characteristics of track surveys in snow // Wildlife Soc. Bul. 2002. Vol. 30. P. 1150–1159.

Karanth K.U., Nichols J.D. Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures // Ecology. 1998. Vol. 79. P. 2852–2862.

Karanth K.U., Kumar N.S., Nichols J.D. Field surveys: Estimating absolute densities of tigers using capture-recapture sampling // Monitoring tigers and their prey: A manual for researchers, managers, and conservationists in Tropical Asia. Bangalore, India: Centre for Wildlife Studies, 2002. P. 139–152.

Thompson S.K. Sampling. New York, USA: John Wiley and Sons, 1992.