
МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 591.582+599.537

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫХ КИТОВ У СЕВЕРО-
ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ САХАЛИНА**

© 2007 г. А.В. Владимиров

*Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии, Москва 107140*

Поступила в редакцию 26.01.2007 г.

Окончательный вариант получен 24.05.2007 г.

Разработана методика корреляционного анализа, которая позволяет проводить статистически достоверное сравнение распределения животных. Установлено, что распределению серых китов у побережья северо-восточного Сахалина в различные годы свойственна схожая пространственно-временная структура. Удалось четко выделить период нагула китов, характеризующийся стабильным и устойчивым распределением, а также определить сроки миграций.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с резко активизирующейся в последние годы разработкой нефтегазоносных месторождений на северо-восточном шельфе о. Сахалин огромную важность приобретает сохранение биоразнообразия этого региона в условиях интенсивной хозяйственной деятельности человека. Наиболее остро эта проблема стоит для обитающей в том же районе в летне-осенний сезон крайне малочисленной и находящейся на грани исчезновения охотско-корейской (западной) популяции серых китов (*Eschrichtius robustus*), включенной в высшие категории Красного списка угрожаемых видов животных Международного союза охраны природы и Красной книги России. Основной нагульный район этой популяции находится в непосредственной близости от разрабатываемых в настоящее время в рамках проектов «Сахалин-1» и «Сахалин-2» Пильтун-Астохского, Одоптинского и Чайвинского месторождений. Данное обстоятельство обуславливает необходимость проведения комплекса учетных работ, направленных на изучение и мониторинг пространственных и сезонных особенностей распределения серых китов в прибрежных водах северо-восточного Сахалина, являющихся не только оперативными показателями состояния охотско-корейской популяции, но отражающими и состояние ее летне-осенних нагульных местообитаний. Животные здесь держатся в подавляющем большинстве вблизи берега, что при хорошей погоде обеспечивает возможность их надежного учета с прибрежных возвышенностей в пределах всей Пильтунской акватории нагула. При этом в течение сезона вполне возможно проведение регулярных учетов и получение, таким образом, подробнейшей информации о распределении серых китов и всех особенностях его сезонной динамики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Полевые работы. Проведенные в 2003 г. на Одопту-Пильтунском участке экспериментальные береговые автомобильные учеты позволили собрать уникальный материал по распределению китов в северной части их Пильтунского нагульного района и показали эффективность выполнения таких работ (Мельников, Стародымов, 2004). С 2004 г. район учетных работ охватывал уже весь прибрежный участок северо-восточного шельфа острова (рис. 1), включая воды лицензионных производственных участков проектов «Сахалин-1» (месторождения Одопту и Чайво) и «Сахалин-2» (Пильтун-Астохское месторождение). Береговые автомобильные учеты проводились по специально разработанной методике, исключающей субъективный подход при сборе первичных данных.

Поскольку береговая линия вдоль прибрежного Пильтунского района, простирающегося почти на 120 км от устья зал. Эхаби на севере до зал. Чайво на юге, разделена на две части протокой, соединяющей Пильтунский залив с морем, в проведении береговых автомобильных учетов было задействовано две группы наблюдателей. Пильтунский залив очень мелководный, и киты в него не заходят, поэтому наблюдения велись с охотоморской стороны. В пределах района были выбраны постоянные учетные точки (8 к северу от устья зал. Пильтун и 5 к югу), приуроченные к прибрежным возвышенностям и расположенные на значительном (8-10 км) удалении друг от друга, чтобы сократить до минимума «двойной учет» (т.е. повторный подсчет одних и тех же животных в пограничных зонах смежных учетных точек). Использование автомобилей позволило группам наблюдателей быстро переезжать с одной учетной точки на другую, минимизируя тем самым погрешности, связанные с перемещениями китов вдоль берега. Для того чтобы обеспечить возможность объединения учетных данных двух разных групп и получения единой картины распределения китов во всем Пильтунском нагульном районе их работа была синхронизирована, т.е. группы начинали или заканчивали маршруты одновременно на смежных учетных точках у устья зал. Пильтун.

В основу методики учета был заложен принцип равномерного осмотра (сканирования) всей видимой с учетных точек акватории с определением азимута на замеченных китов и расстояния до них, что позволяло затем при обработке данных вычислить географические координаты каждого животного. Для учетов использовались специальные бинокли «Fujinon» 7x50 FMTRC-SX 7°30' со встроенным компасом и дальномерной сеткой. Осмотр акватории проводился одновременно двумя наблюдателями путем медленного и плавного перемещения бинокля из расчета 10 градусов/1 минута. Время сканирования на разных точках варьировало в зависимости от зоны обзора с них, составляя от 17 до 20 минут, но являлось строго фиксированным для каждой точки. Третьим членом группы (регистратором) на каждой точке заполнялся унифицированный протокол учета, куда вносились: время начала и окончания сканирования акватории с данной

учетной точки, инициалы наблюдателей и регистратора, гидрометеорологические условия, точное время обнаружения серых китов и других китообразных, количество особей в группе, направление движения, элементы поведения, присутствие самок с детенышами, наличие в акватории судов и пр.; детали, не предусмотренные графами протокола, вносились в примечание.

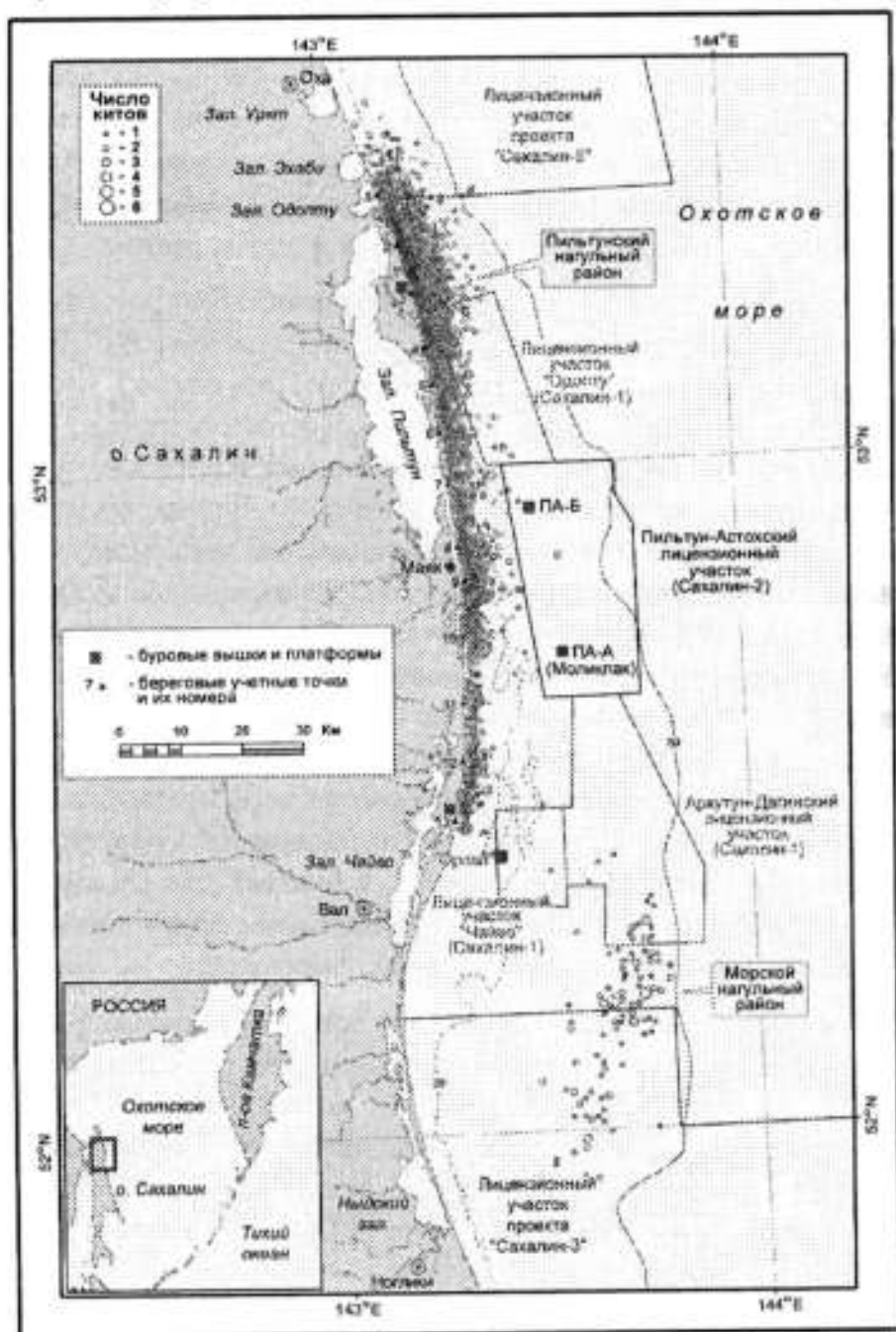


Рис. 1. Лицензионные участки и производственные объекты шельфовых нефтегазовых проектов на северо-восточном Сахалине и характер распространения серых китов в районах их летне-осеннего нагула.

Fig. 1. License areas of shelf oil and gas extracting projects and Western Gray whale summer-fall feeding grounds off the northeastern coast of Sakhalin Island.

Для всех учетных точек были определены точные координаты и высота над уровнем моря, необходимые для последующего расчета расстояния до обнаруженных китов и их координат. При этом учитывался также рост самих учетчиков и уровень моря в зависимости от приливно-отливных колебаний на момент учета.

Регулярные береговые учеты 2004-2005 гг., проводившиеся практически ежедневно с конца июня по середину октября каждый год, дали уникальный, по сравнению с другими типами учетов, объем сопоставимых между собой данных, позволяющий провести их статистически объективную и достоверную обработку.

Анализ данных. С самого начала учетных работ встала задача проанализировать распределение серых китов за различные периоды, выявить его пространственно-временные закономерности и провести достоверное сравнение особенностей распределения животных в различные годы, чтобы объективно оценить возможное влияние хозяйственной деятельности на охотско-кореysкую популяцию серых китов.

Основными трудностями, с которыми сталкиваются исследователи при анализе распределения животных, являются обоснованность и однозначность сделанных выводов. Распределение представляет собой непараметрический показатель, и, в отличие от целого ряда других биологических параметров (таких как рождаемость, смертность, биопродуктивность и т.п.), оно не поддается отображению в числовых значениях. В связи с невозможностью непосредственного измерения распределения, для его характеристики используются, в основном, описательные методы. Однако простое отображение встреч китов на карте, графическое представление собранных данных и их последующая интерпретация не позволяет достоверно судить о сезонных и пространственных закономерностях, а также структуре распределения животных. Выводы, базирующиеся на визуальной оценке по точкам на карте, являются, во многом, субъективными, и у разных специалистов может сложиться различное представление и понимание картины происходящего. К тому же систематизацию таких данных принято проводить за какой-то определенный промежуток времени (неделя, декада, месяц), в то время как качественные изменения в распределении животных, как правило, не совпадают с календарными отрезками.

Единственным способом статистического анализа непараметрических показателей является проведение ранжирования по некоему определенному критерию (Геоинформатика, 2005), в данном случае – пространственному. Поскольку распределение серых китов имеет точную географическую привязку, деление проводилось по территориальному признаку, а само положение Пилтунского района, вытянутого субдолготно вдоль берега, существенно упростило эту задачу. Между тем, разрозненное расположение одиночных животных и их групп не давали возможности выявить сколько-нибудь общие

закономерности. Так как распределение китов не является стационарной системой, и животные перемещаются, встала задача объединить отдельные встречи китов в пределах некоторых пространственных отрезков.

Для этой цели был использован метод генерализации, основная идея которого состоит в укрупнении территориальных единиц при продвижении от частного к общему (Дьяконов и др., 1996). Определенную сложность вызывало то, что требовалось выявить и показать общие закономерности, характерные для распределения китов в течение всего сезона, и при этом не потерять небольшие качественные изменения. Так, слишком мелкое дробление способно показать только локальные перемещения животных, в то время как слишком крупное – дает лишь самое общее представление о наличии китов в районе. На степень генерализации в каждом конкретном случае влияют задачи, стоящие перед исследователем, и она зависит от выборки или требуемой детализации явлений и процессов. При анализе распределения серых китов в Пильтунском районе целью ставилось выявление общих закономерностей на значительной акватории за четырехмесячный период, поэтому была взята достаточно высокая степень генерализации.

При решении этой задачи использовалось несколько различных подходов, которые, тем не менее, дали идентичный шаг разбивки. В результате было выделено 6 равнозначных отрезков акватории размером по $0,2^\circ$ (20 км на местности) от $53,5^\circ$ с.ш. до $52,3^\circ$ с.ш., являющихся оптимальными по величине для анализа изменений в распределении серых китов в Пильтунском районе в течение сезона. Необходимым условием являлось затраченное усилие, которое должно было быть одинаковым для всех отрезков. В соответствие с этим, были определены критерии выборки, в которую вошли только те дни, когда учеты были проведены во всем районе. Количество китов на каждом из 6 отрезков за один учет являлось основанием для массива, используемого в дальнейшем для сравнения с таким же массивом другого учета. Другими словами, для каждого дня, когда был проведен полный учет, был получен ряд числовых значений, представлявших собой общее количество животных на каждом из отрезков акватории. Поскольку для всех рассматриваемых дней количество этих отрезков было одинаковым, а их границы неизменны, то полученные ряды можно сравнить между собой.

Из множества средств статистического анализа для сравнения схожести распределения лучше всего подошел метод корреляции. Корреляционная связь двух массивов, в данном случае представляющих собой пару учетов, представляет собой прямолинейные связи, а коэффициент корреляции измеряет их степень и определяет направление. Вследствие этого «равномерным изменениям первого признака соответствуют равномерные (в среднем) изменения второго признака при незначительных и беспорядочных отклонениях от этой равномерности» (Плохинский, 1970).

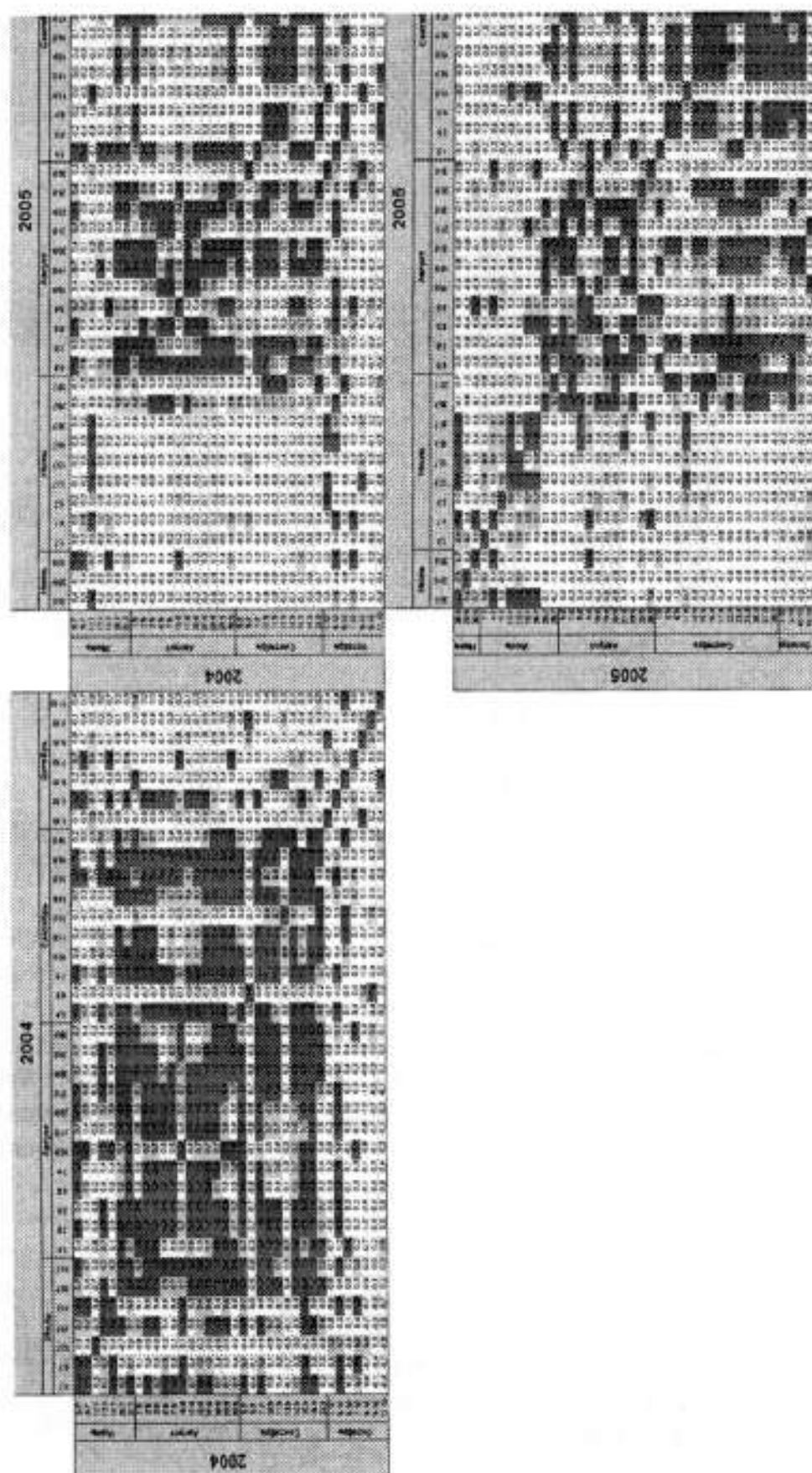


Рис. 2. Пример использования корреляционных таблиц для сравнения схожести распределения в отдельно взятые сезоны и между различными годами.

Fig. 2. An example of correlation tables usage for the comparison of the whale distribution similarity in different seasons and years.

Расчет коэффициента корреляции проводился по формуле Пирсона с помощью стандартного пакета анализа Excel MS. На каждый год была рассчитана сводная корреляционная таблица, в которой каждый день сравнивался со всеми другими днями периода наблюдений. Это позволило создать матрицу изменений в сезонном распределении китов, проанализировать распределение китов в течение всего сезона и отследить даты качественных изменений в распространении животных (рис. 2).

В данной таблице (рис. 2) каждый день, когда был проведен учет, служит для сопоставления с другими учетами, как того же сезона, так и других годов. Коэффициенты корреляции, проставленные в каждой из ячеек полученной корреляционной таблицы (рис. 2) отражают степень схожести распределения китов в данный день с их распределением в другие дни. Темным цветом выделены высокие коэффициенты корреляции (от 0,8 до 1,0), светлым – менее значимые (от 0,6 до 0,7), белым – незначимые. В таблице также присутствуют отрицательные значения коэффициентов корреляции, свидетельствующие об обратных тенденциях в динамике распределения животных.

Корреляционный подход к анализу распределения серых китов в Пилтунском районе впервые был применен в 2004 г., что позволило спрогнозировать сроки основных изменений в распределении китов на 2005 г. Прогноз полностью оправдался, и в результате новые данные существенно дополнили имеющуюся картину.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На всех таблицах как по каждому году, так и сравнения различных годов между собой, четко просматривается основной период нагула. Это выражается в блоке положительных и высоко-значимых коэффициентах корреляции. Он характеризуется схожим устойчивым распределением в течение длительного периода времени и существенно отличается от периодов миграций. Также, при рассмотрении полученных корреляционных таблиц хорошо видны более или менее продолжительные временные отрезки, когда распределение китов в районе носило изменчивый характер, и периоды, когда оно было достаточно стабильным (блоки с явным преобладанием темных клеток значимых коэффициентов корреляции). Рассматривая стабильность пространственной структуры группировки китов в течение определенного срока как признак однородности протекающих в ней в это время интрапопуляционных процессов, есть все основания классифицировать выделяющиеся в течение сезона блоки дней с устойчивым распределением животных как последовательно сменяющие друг друга различные стадии жизнедеятельности группировки. Корреляционный анализ показал, что формирование блоков с высокой схожестью распределения животных приурочено ко времени окончания подхода китов к местам нагула, а их распад – к началу обратной миграции. Это позволило четко выделить период нагула

китов, характеризующийся стабильным и довольно устойчивым распределением, а также определить сроки миграций. Дальнейшая обработка позволила детально проанализировать структуры распределения животных в 2004 и 2005 гг., а также сравнить их между собой.

В результате было установлено, что распределению китов в различные годы свойственна схожая пространственно-временная структура. С 80-х годов известно, что серые киты появляются в районе зал. Пильтун в конце мая-начале июня, когда море постепенно освобождается ото льда, однако вплоть до начала июля их численность невелика. Как было установлено в 2004-2005 гг., основной период подхода животных начинается в первых числах июля. В конце июля миграция животных заканчивается и начинается нагульный период (26 июля в 2004 и 28 июля в 2005 гг.), продолжающийся чуть более 2 месяцев и характеризующийся, как было установлено, высокой схожестью распределения животных. В начале октября начинается период обратной миграции (1 октября в 2004 и 7 октября в 2005 гг.), и животные постепенно покидают район нагула.

Сравнение распределения животных в 2004 и 2005 гг. показало, что распределению китов в эти годы была свойственна одинаковая пространственно-временная структура. Коэффициент схожести распределения китов в 2004 и 2005 гг. составил 0,95. Следует отметить, что в 2004 г. промышленная активность на шельфе в Пильтунском районе была минимальна, в отличие от 2005 г., когда в его центральной части в рамках проекта «Сахалин 2» в июле-августе проводились работы по установке основания морской буровой платформы «ПА-Б», а в южной части в летние месяцы сооружалась морская буровая платформа «Орлан» и прокладывался донный трубопровод к ней от берега острова (проект «Сахалин 1»). Поэтому столь высокий показатель коэффициента корреляции распространения серых китов в эти годы позволяет сделать вывод, что хозяйственная деятельность не оказала значительного воздействия на структуру и характер распределения животных в Пильтунском районе (Владимиров и др., 2006а). Однако, несмотря на то, что в ходе проведенных исследований не выявлено видимого негативного воздействия промышленной деятельности человека на распределение серых китов, должны быть приняты все меры, чтобы не допускать нарушения пространственно-временной структуры их группировки в сезон нагула, и обеспечить сохранение уникальных прибрежных биотопов, играющих ключевую роль для существования охотско-корейской популяции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика корреляционного анализа распространения серых китов позволяет проводить статистически достоверное сравнение распределения животных и дает полное и очень точное представление о его пространственно-временной структуре, основных периодах и датах их начала и окончания. Примененная впервые на практике в 2004-2005 гг., она позволила выявить ранее

неизвестные закономерности пространственно-временного распределения серых китов на нагульных местообитаниях у побережья северо-восточного Сахалина и провести сравнение распределения животных в эти годы (Владимиров и др., 2005).

Полученные в ходе корреляционного анализа выводы были в дальнейшем подтверждены использованием других статистических методов и данными последующих исследований (Владимиров и др., 2006б), что дает основание считать разработанную систему репрезентативной моделью пространственно-временной динамики распределения серых китов на местах нагула в Пильтунском районе в летне-осенний сезон.

Достоинством метода корреляционных отношений является и то, что его можно применить для разных по площади участков, если использовать усредненные показатели, например, плотность. В зависимости от целей и особенностей исследований, сравнения можно проводить как внутри одного района, так и между различными районами, а также для анализа как суточного, так и сезонного распределения животных.

Автор выражает огромную благодарность компаниям ENL и SEIC, сделавших возможным проведение данных экспедиций, консалтинговой фирме LGL, оказывающей постоянную поддержку в осуществлении исследований, а также всем членам команды, участвовавшим в береговых автомобильных учетах в 2004-2005 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Владимиров В.А., Блохин С.А., Владимирова А.В. и др. Распределение и численность серых китов охотско-корейской популяции в водах северо-восточного Сахалина в июле-ноябре 2004 г. (по данным береговых, авиационных и судовых учетов). Отчет ВНИРО, Москва и ТИНРО-Центра, Владивосток, для компаний «Эксон Нефтегаз Лимитед» и «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лимитед», Южно-Сахалинск, Россия. 2005. 233 с. (доступен на веб-сайте «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лимитед»).

Владимиров А.В., Владимирова В.А., Стародымов С.П. и др. Распределение и численность серых китов (*Eschrichtius robustus*) охотско-корейской популяции в прибрежных водах северо-восточного Сахалина в июне-октябре 2005 г. (по данным береговых учетов). Сб. науч. тр. по мат. четвертой междунаро. конф. «Морские Млекопитающие Голарктики». СПб., 2006а. С. 135-140 (на рус. и англ.).

Владимиров В.А., Блохин С.А., Владимирова А.В. и др. Распределение и численность серых китов охотско-корейской популяции в водах северо-восточного Сахалина в июне-ноябре 2005 г. (по данным береговых, авиационных и судовых учетов). Отчет ВНИРО, Москва и ТИНРО-Центра, Владивосток, для компаний «Эксон Нефтегаз Лимитед» и «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лимитед», Южно-Сахалинск, Россия. 2006б. 216 с. (доступен на веб-сайте «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лимитед»).

Геоинформатика: учеб. для студ. вузов. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др.; под редакцией проф. Тикунова В.С. М.: Изд. Центр «Академия», 2005. 480 с.

Дьяконов К.Н., Касимов Н.С., Тикунов В.С. Современные методы географических исследований. М.: Просвещение, 1996. 207 с.

Мельников В.В., Стародымов С.П. Распределение серых китов в Одопту-Пильтунском районе в июле-октябре 2003 г. Отчет ТОИ ДВО РАН, Владивосток, для компаний «Эксон Нефтегаз Лимитед» и «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лимитед», Южно-Сахалинск, Россия. 2004. 63 с. (доступен на веб-сайте «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лимитед»).

Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд. Моск. Ун-та, 1970. 367 с.

AN ATTEMPT OF THE CORRELATION ANALYSIS USAGE IN RESEARCH OF THE SPATIOTEMPORAL FEATURES OF THE WESTERN GRAY WHALE DISTRIBUTION OFF THE NORTHEASTERN COAST OF SAKHALIN ISLAND

© 2007 y. A.V. Vladimirov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow
the methodic of the correlation analysis, which allows providing statistically reliable comparison of the animal distribution, was developed. It was revealed that distribution of Gray whales near the northeastern coast of Sakhalin Island has similar spatiotemporal structure in the different years. The feeding period of the whales characterizing by the stable and sustainable distribution and the terms of the migrations were neatly determined.