



Информационни възможности на мозъка

Кирил Боянов

Днес този въпрос продължава да занимава учени от различни области – невробиолози, биолози, неврохирурзи, информатици и др. В световен мащаб са известни много статии, посветени на възможностите, структурата и функционалните особености на мозъка. В последно време особено се засили интересът и към мозъчните явления и заболявания, като в САЩ и Европа се обявиха конкурси за проекти, свързани с дейностите на мозъка. Един от големите проекти в Европа по отношение на човешкия мозък е финансиран със сума от 1,5 млрд. евро.

Възможно ли е да се оценят информационните възможности на мозъка, като се отчетат два характерни параметъра – обемът на запомнената информация и скоростта на обработката ѝ. При това се правят определени допускания, като за оценките им се вземат възможните максимални стойности. В статията се приема съвсем условно, че мярката за единица информация е бит, за съжаление в момента друга мерна единица за количество информация не е известна. Тя е предложена от Шенон през 30-те годи-

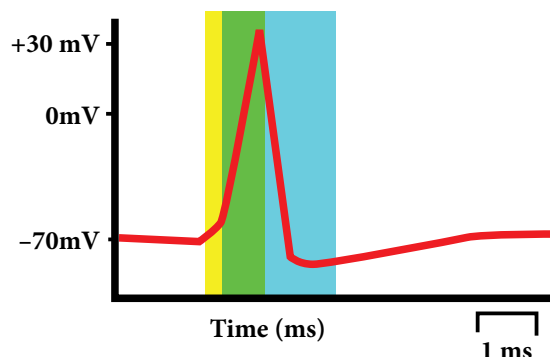
Човешкият мозък винаги е бил интересен от изследователска гледна точка. През изминалите векове много учени са изследвали неговите способности. Мъчили са се да обяснят изключителните му възможности както за запомняне, така и за обработка на информация.

ни на миналия век и е свързана с предаването на сигнали в комуникационните системи.

Могат ли да се определят максималните информационни възможности на човешкия мозък, измерени в битове? Приема се, че отделните символи се кодират с

известната единица от информационните технологии – байт. Байтът се състои от 8 бита и в него могат да се закодира символ, респективно буква, знак или две десетични числа. Тук не се отчитат възможностите, които съвременните технологии предоставят за компресиране на информацията. Това и не е необходимо, тъй като се търси приблизително максимално възможният обем на информация.

Приема се също така, че основните носители на информацията са невроните – клетки, изцяло служещи за обработка, съхраняване и предаване на сигнали. Те се свързват един с друг, като образуват невронни мрежи и общуват помежду си чрез синапсисни връзки. В литературата подробно е представена структурата на неврон и възможностите му за силно разклонение, обра-



Две гранични потенциални състояния на неврона

зувайки невронни мрежи. Предполага се, че невронът има от 1000 до 7000 връзки към други неврони. Те се осъществяват и чрез гендритите, респективно през каналите на синапсните връзки.

Съгласно някои автори мозъкът съдържа приблизително 86 млрд. неврона, като 69 млрд. от тях са разположени в главната част на мозъка, а 16,3 млрд. – в кората. Кората е тънък пласт от невронна тъкан, която играе ключова роля за паметта, вниманието, усещането, възприемането, мисълта, езика и съзнанието. Според други автори невроните са значително повече. Във всички случаи те дават някаква приблизителна възможност за оценка на информационните способности на мозъка.

Може да се направят някои сравнения между компютъра и човешкия мозък. В компютърната система определена част от оперативната памет (ОП) – от порядъка на 10 – 20 %, е запазена за операционната система (ОС), която управлява нейната работа при изпълнение на програмите. В ОС съществува ядро, т.нар. супервайзор (SP), който позволява в определена степен разширяване на функциите ѝ, като нейни компоненти се обменят между външната и оперативната памет. Това позволява компютърната система да осигурява по-добра

функционалност при решаване на различни по комплексност задачи. Операционната система не може да създава нови функции сама по себе си, а само конструкторът може да добавя подобрения.

Човешкият мозък е по-различен, като определени области от мозъчни клетки управляват главния мозък, въвеждайки нова информация за съхранение и обработка. Работният процес на мозъка твърдо се различава от връзката на супервайзора с оперативната памет. Съществува определен минимум от начални функции, който е възраден и позволява натрупването на информация в мозъчните клетки. След раждането част от информацията генетично е налична и започва процесът на нейното съхраняване и натрупване чрез сетивата. С възрастта натрупаната информация от обкръжаващата действителност нараства, като съответните области на мозъка, които управляват тази дейност, се стремят да осигурят и все по-добра обработка на информацията, което води и до подобряване на действията на човешкия организъм. В това отношение могат да се установят прилики с компютърна система, която изпълнява задачи в реално време.

За разлика обаче от компютърните системи, подобрението на управлението на



Визуално представата е по-добра

мозъка е на база обучение и само обучение, и чрез социалните контакти. В литературата се среща интересна хипотеза: колкото повече информация съхранява мозъкът **и по-добре я обработва, толкова повече** се подобряват способностите и уменията, и съответно условията за нашето съществуване. Операционната система за определена компютърна архитектура е фиксирана и не може да бъде променяна. Само нов модел може да постигне по-добра функционалност. Това предполага необходимост от постоянно усъвършенстване на компютърните системи.

За човешките същества усъвършенстването се постига чрез вътрешно зависими и динамични процеси. Подобренението на системата за управление на мозъка е свързано с увеличаващ се обем информация, която човек трябва да възприеме, и този обем нараства с времето, което води до по-голям брой връзки между отделните мозъчни клетки. След определена възраст способността на човешкия организъм да натрупва информация отслабва, което се дължи на биологични фактори,

като намаляване чувствителността на сетивните органи и нарушаване жизнеспособността на невронните мрежи, което довежда до намаляване на количеството получена и обработвана информация.

Процесите, водещи до отслабване способностите на мозъка за възприемане на информация и придобиване на нови умения, са бавни. Може да се потвърди, че има части от паметта, които продължават да възприемат нова информация през целия цикъл на живота. Ако се опитаме да направим груба оценка за обема на информацията, която се съхранява в мозъка, и ако съвсем грубо приемем, че невронът има две състояния, то могат да се направят следните пресмятания: 86×10^9 бита, превърнати в байтове, са приблизително 10×10^9 байта, или 10 гигабайта. Тук трябва да имаме предвид, че съгласно изследванията информацията, която се натрупва в световен мащаб, расте изключително бързо и в близките години се очаква да достигне 20 000 ехабайта (10^{18} байта).

Характерната функция на неврон, когато преминава от едно в друго състояние, ни дава предпоставката да приемаме, че той има две състояния. Начинът на предаване на информацията е аналогов, но тъй като аналоговият сигнал може да се представи като дискретни стойности, то приетата мярка „бит“ за информацията е подходяща. Тук трябва да се направи уговорката, че според някои автори запомнянето на един бит информация е възможно да се извършва от група неврони или от група неврони и съответните синапсиси. Подобна възможност е известна от компютърната техника. Тъй като се търси максимален обем информация в случай, че един бит се представя от няколко неврона, измерената информация ще бъде по-малка, т.е. търсенето на максималния обем чрез използване броя на невроните дава сравнително добра оценка. Някои автори отчитат и синапсисните връзки като запомнящи и тогава оценката

е значително по-голяма от 10 гигабайта, тъй като при тези предположения за няколко хиляди връзки, общият максимален обем достига порядък от терабайтове (10^{12} байта) и дори петабайтове (10^{15} байта). Във всички случаи дори оценка от 10 гигабайта ни дава огромно количество информация. Грубо, ако го оценим в страници, това е от порядъка на 500 000 печатни страници в стандартен формат.

Интересен е въпросът за обмен на информацията и респективно за обработка на информацията. Нека талантлив актьор запомня 100 страници с 300 думи чист текст на страница (има се предвид, че нормалната страница съгласно стандартите съдържа 66 знака на ред и 30 реда на страница, т.е. 400 думи). Ако приемем, че за 2 секунди се произнесе една дума от 5 букви и допуснем, че в страница има средно 300 думи чист текст, тогава за рецитиране ще са му необходими $(300 : 2) \times 100 = 15\,000$ секунди, или 4,1 часа. За това време ще се предават $15\,000 \times 80$, или $1,2 \times 10^6$ бита. Това е случаят, когато кодираме съответно 1 буква с 8 бита, т.е. две думи, които съдържат 10 букви, се кодират с 80 бита. Обемът на информацията в байтове ще е около 150 килобайта.

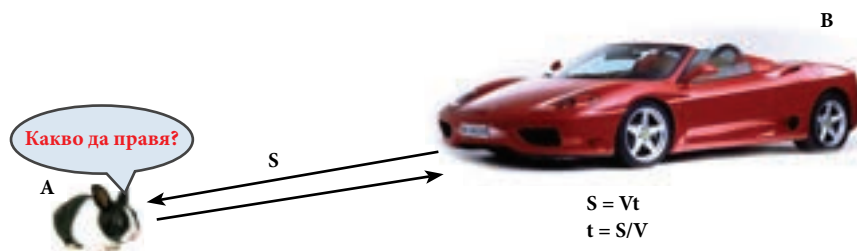
Да разгледаме предаването на звук, като е избран пример с „минутния валс на Шопен“, който се изпълнява за една минута. Основно се използват 50 клавиша на пианото от общо 85 и ако приемем, че 1 бит кодира всеки клавиш, а отделим 10 бита за кодиране силата на звука, то тогава ще имаме 60 бита информация за кодиране на една нота. Валсът по съвсем груба оценка съдържа 730 ноти, така че ще получим, че около 730 бита се предават за секунда. Обемът на звуковата информация за 4,1 часа ще бъде от порядъка на 1,35 мегабайта. Тук данните са подходящо подбрани, за да се покаже, че ако се използва звук, се получава много по-голям обем предадена информация. Т.е. ако използваме звук, можем по-бързо да предаваме



Акад. Кирил Боянов е завършил Техническият университет – София, специалност „Радиотехника“. През 1975 г. защитава степенята доктор на техническите науки в областта на изчислителната техника в Санктпетербургския електротехнически институт. През 1986 г. е назначен за директор на Института по микропроцесорна техника. През 1989 г. е избран за чл.-кореспондент на БАН, а през 2003 – за академик. В периода 2004 – 2010 г. е директор на Института по паралелна обработка на информацията при БАН. Научните му приноси са в областта на компютърните науки.

информация в по-голямо количество за определено време. Естествено „буря“ или „морски вълни“ ще се представят по-добре и по-бързо чрез звук и точността ще е по-голяма при използването на звук вместо говор.

Някои азиатски езици като японски, китайски и грузи предават по-голямо количество информация, т.е. повече битовете за секунда. Това позволява скоростта да бъде подобрена чрез използване на думи с няколко значения. На китайски например „ма“ означава майка, къща и въпрос, в зависимост от интонацията при произношението. Повече тоналности водят до по-големи възможности за грешки, т.е. грешно разбиране на дума или фраза. Намаляване скоростта на предаване увеличава надеждността на предаваната информация и води до създаване



Оцеляването изисква по-бърза реакция

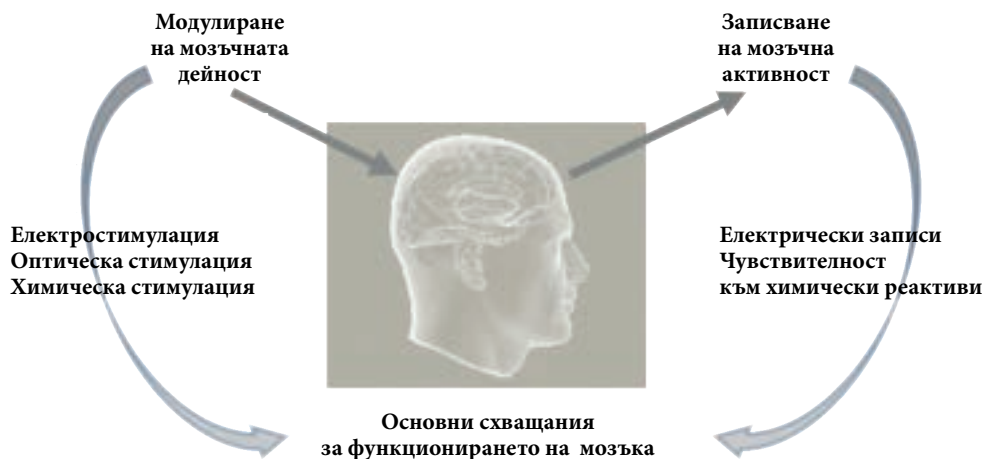
на повече надеждни езици, като италианския например. Друг пример е есперанто, при който произношението не довежда до двусмислености.

Може ли да се разглеждат езиците в съответствие на възможностите им за предаване на повече битове и дали повече предадени битове означават по-големи възможности на езика за изразяване на мисли и емоции? Може ли да определим критерии за сравнение, кой език има по-големи предимства? Това са въпроси, по които лингвистите продължават да гискутират.

Да разгледаме екран с размери 100×60 см (приблизително 48 инча) при предаване на изображения и ако приемем разрешаваща способност от 1920×1080 пиксела (качествен телевизор), при 10 бита отделени за кодиране яркост на един пиксел, ще получим

обем на информация от 3,2 гигабайта, т.е. значителен обем. И най-талантлив художник не може буквално да произведе копие на картина с тези размери в реално време, без да я наблюдава, понеже паметта не може да съхрани такъв обем информация.

Някои изследователи пресмятат, че окото е орган, който позволява да бъде прието количество информация от порядъка на 72 гигабита в секунда, или съответно около 9 гигабайта за секунда. Това, че очите ни възприемат такова огромно количество битове, довежда до заключението, че телевизията и други устройства за визуално наблюдение са най-бързите източници за възприемане на големи обеми от информация. С масовото въвеждане на телевизията и компютрите се повишават и възможностите за визуализация. Потокът на



Записване на EEG и електростимулация



Електроди за извършване на енцефалографски записи

информация нараства значително, което предполага необходимостта от нейната бърза обработка.

Много по-трудно е да се обясни какво представлява котка чрез използване на словесни изрази, а с един поглед за 1 – 2 секунди получаваме съответната представа, т.е. потвърждение на факта, че количеството информация през визуални наблюдения е по-голямо.

Тук са известни редица хипотези, като се отчита, че развитието на човечеството е било свързано главно със задоволяване на физиологичните потребности. Модерното общество обаче има и други приоритети. Някои изследователи допускат, че човешкият организъм ще се развива в посока на увеличаване възможностите за максимално възприемане и бърза обработка на информацията. Т.е. способностите на организма за бърза обработка на информацията дават по-големи възможности за оцеляване.

Вижда се, че в процеса на еволюцията при някои животински видове бързата обработка на информация се е превърнала в определени рефлексии. Организмът развива главно възприятия, използвани за по-бърз и по-добър достъп до информация. В редица случаи, ако животното не се ориентира към по-бърза обработка на информацията, това може да доведе до катастрофални последици. Можем да наблюдаваме във всекидневния живот, че кучетата вече много

добре се ориентират в новите условия на автомобилно движение и респективно се съобразяват с това, че скоростите са различни от тези, които те по природа притежават, за да се спасят от своите нападатели.

Въпросът за бързо предаване на информация е от изключително значение и до този момент е свързан с комуникационните системи. Може да се пресметне по формулата на Шенон, че при използване на определени дължини на електромагнитните вълни, които са в спектъра на високите честоти, но не са в обхвата на тези, които вредят на човешкия организъм, т.е. с по-ниски честоти, отколкото са рентгеновите лъчи, се постига скорост по единичен комуникационен канал от порядъка на $0,6 \times 10^{15}$ в секунда. Това бързодействие днес е в обхвата на бързодействието на суперкомпютрите и не съществува проблем за предаване на обработваната информация в реално време. Очакванията са, че скоростта на суперкомпютрите значително ще се повиши до 10^{18} операции в секунда.

С развитие на астрофизиката и очакванията за нови открития при изучаване произхода на вселената и микрокосмоса, времето за обработка на определена информация ще е по-малко от времето за предаване на резултата. Това ще доведе до проблеми, тъй като в този случай, ако резултатът не може да бъде използван своевременно,

„Активен“ електрод

Дебелина 100 μm , ширина 180 μm , дължина 4 мм



Електрод, предназначен за имплантиране в мозъка

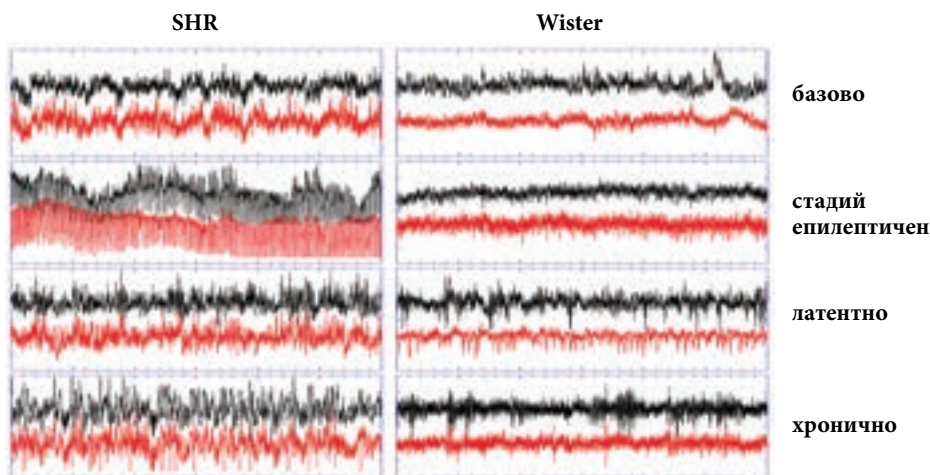
то обработената информация може да се окаже безсмислена. В съвременната военна стратегия този проблем е достатъчно развит. При големите скорости на ракетите обработката на информацията предшества определянето на нейната следваща позиция в пространството. Така резултатът от обработката бързо трябва се предаде, за да се спази определената траектория.

Ако с времето се появят процеси, които изискват обработка на информацията и резултатът не може да се предаде своевременно, възможно е наличието на проблемни ситуации. Ясно е от военната стратегия, че ако дадена страна иска да има военно превъзходство, тя трябва да блокира информационния поток и средствата за обработка на информацията и след това да нанесе военния удар. В противникова страна ще получи съответната информация за нападението и отговорният удар е неизбежен.

Съвременните изследвания върху човешкия мозък се свеждат до регистриране посредством записи на мозъчната дейност. Записите се извършват, като на главата на пациента се поставя шлем с множество електроди, от които се извеждат сигналите. Това са енцефалограмни записи (EEG),

които служат за диагностика. Посредством специална апаратура е възможно да се реализират и стимулации на мозъчната дейност.

Благодарение на нанотехнологиите се появиха специални микро-електромеханични системи (MEMs), които позволяват да се използват инвазивни записващи електроди. На база на тези тънкослойни технологии се произвеждат електроди с много висока плътност на записващите точки (изводи). Предложената концепция за изследване на мозъка позволява чрез имплантиране на електроди да се снимат електроенцефалограми и да се записват сигнали от определени области на мозъка, което пък ще позволи както определяне функционалните им възможности, така и възможности за определена диагностика на болести като епилепсия, паркинсон и т.н. Основна цел на тези изследвания е предотвратяването на пристъпите и лечение на заболяването. Съществуват и електроди, имплантирани в мозъка, които преминават през съответните дялове на мозъка и позволяват да се получат сигнали дори от неврон. Енцефалограмните записи съдържат множество шумове, т.нар. артефакти. За да се избегнат различните артефакти, записите се обработват със съвременни математически



Енцефалограмни записи от два типа плъхове в различен стадий на заболяване

методи: правото преобразуване на Фурие, косинус преобразуване, уейвлет, филтър на Кауман и т.н. Обикновено, енцефалограмите се записват в интервали с определена честотна лента: delta, theta, alpha, beta, гамма честотни ленти. След обработката могат да се наблюдават характерни особености в по-високите честотни ленти (спайкове).

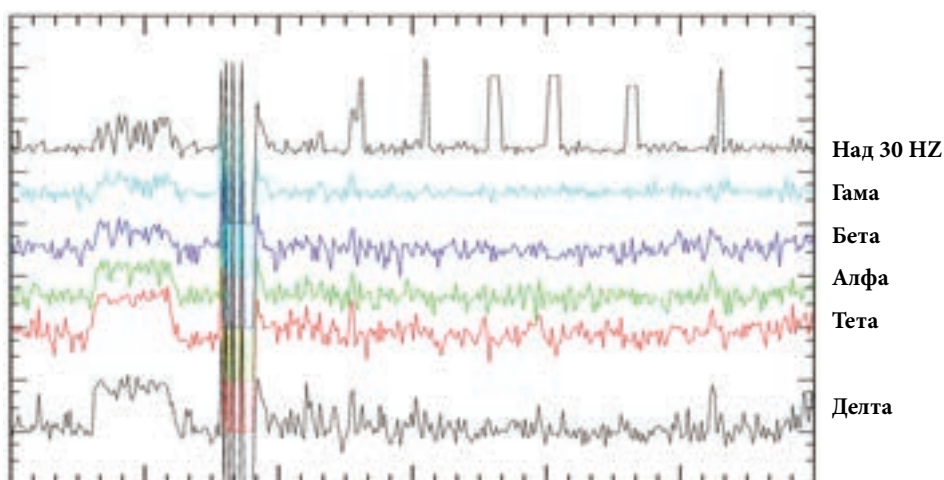
Интересно е да се отбележат някои философски проблеми, които широко се дискутират. Те индиректно са свързани с информационните възможности на мозъка. Например има ли лимит на знанията, които може да добие човек, и може ли да се достигне този лимит? Ако няма ограничения на човешкия потенциал за знания, тогава тези знания постоянно ще растат до ниво, осигуряващо на човешкото съзнание един нов начин на съществуване. Но как това развитие ще окаже влияние на групата хора, които са пряко ангажирани с физически труд и не могат да достигнат минимума на нивото на интелигентност?

Вече все повече индивиди имат възможност да обработват получената информация по по-бърз начин и с по-високо качество. Това ще позволи да бъде удължен животът чрез подобряване на нашите възприятия

и получаване на повече информация чрез техническия прогрес. Тогава е възможна реализация на идеята за използване на технологията и биологичните инструменти за стимулиране растежа на нови неврони и за евентуално удължаване на живота. Такова усъвършенстване зависи от възможните ограничения на човешкия мозък и от степента на технологичния напредък, който може да бъде достигнат, а то естествено е непосредствено свързано и с максималния обем информация.

Горното поражда и въпроса, дали човечеството ще достигне до отчуждаване между двете групи или ще търси взаимно-изгодно решение? Много е възможно да се получат конфликти, тъй като земните ресурси ще се изчерпят. Хората с по-висок интелект ще могат да се справят с житейските проблеми по-добре, отколкото тези с по-ограничени възможности.

Тогава какво ще бъде обществото? Съставено от високо развити интелектуалци, които ще използват модерните технологии, за да удовлетворяват своите основни нужди, или ще има глобален конфликт, дължащ се на разделението и водещ до сериозни последствия относно опазване на цивилизацията.



Обработени сигнали от EEG (1 канал)

Оттук могат да се направят редица изводи за образованието на човека. Постоянно ще има необходимост от увеличаване на знанията, което ще изисква промяна на образователната система и нови методи за обучение. Въвеждането на модерните компютърни иновации ще изисква пък сериозни изследвания на техните положителни и отрицателни страни. Както е известно, тренирането на т.нар. умни командоси вече е факт в някои страни. Една от основните задачи на тази група от хора е да получат умения за бързи реакции в кризисни ситуации. Друг е въпросът, че увеличаването на обема на данните не е свързан само със способността на човека да съхранява информацията, а и с околната среда. Развитието на човешките умения, включително нашите креативни способности, е без прецедент, що се отнася до увеличения обем информация, която получаваме и обработваме. Човекът променя околната среда, вместо да се адаптира към нея, създава нови видове в животинския и растителния свят при променящи се условия. Всичко това подобрява нашите способности за получаване и обработване на информацията. Животинските видове трябва да очак-

ват промените в поведението на човека, за да оцелеят. Човек, развивайки физическите си сили и умствени възможности, неминуемо влияе в някаква степен на животинския и растителния свят. Той въздейства върху променящите се качества на животинските видове, например чрез употребата на химически подобрения. Дори съвсем бавно животинският и растителният свят да променят качеството на живот или дефинирания от хората начин, това означава, че стремежът е към увеличаване възможностите за оцеляване. Въпросът за това, как действията на човека влияят на околната среда и съответно въздействат върху поведението на животинските видове и начина, по който те получават и обработват информацията, е от особена важност и е предмет на друго изложение.

Усилията за определяне границата на информацията, която човек може да получи и обработи, предполагат, че потенциалът на човешкия мозък съвсем не е далеч от изтощаване, а не е ясно и дали това е възможно. Правилното възприемане и бързата обработка на големи обеми информация във всички случаи обаче води до подобряване живота на хората. ■

Странни взаимоотношения



Американски зоолози забелязали, че в заблатени места, разливи на реки и други местообитания на северноамерикански алигатори по поречието на р. Мисисипи и в Южна Флорида почти винаги съществуват и много птичи колонии, които гнездят в короните на дърветата по тези места. И обратно, в местата на гнездене на по-големи птичи колонии от водолюбива птица винаги се концентрирал и значителен брой алигатори, които се криели във водите около колонии на птиците. Американският, или Мисисипийският алигатор (*Aligator mississippiensis*) има доста внушителни размери – на дължина достига до 4,6 м, и е голям хищник, но явно птиците не се впечатляват от неговото присъствие и даже предпочитат местата, където неговата численост е по-голяма. Защо това е така? На този въпрос дава отговор екип от зоолози и еколози от Университета във Флорида, ръководен от г-р Лукас А. Нел (Lucas A. Nell), публикуван в авторитетното списание PLoS ONE.

В резултат на продължителни наблюдения върху поведението на птиците, алигаторите и другите по-дребни сухоземни хищници г-р Л. Нел и неговите колеги достигнали до извода, че всъщност птиците предпочитат да гнездят в местата с много алигатори, защото последните, навъртайки се постоянно около гнездовите колонии на птиците, не позволявали на по-дребни сухоземни хищници да се заселват наоколо, да се катерят по дърветата и да унищожават гнездата на птиците с техните яйца и малки. По такъв начин алигаторите като че ли специално опазвали птичите гнездови колонии, но това поставя въпроса, а те имат ли някаква полза от тази тяхна охранителна дейност? Оказало се, че и алигаторите неслучайно се струпвали около гнездящите колонии. Знае се, че много от птиците, и то не само водолюбивите, снасят по-

вече яйца в гнездата и невинаги отглеждат цялото си потомство. В случая водолюбивите птици във Флорида били защитени от нападения на сухоземни хищници, но невинаги могли да изхранят цялото си потомство и често изхвърляли сами от гнездата си по-дребните и слаби новоизлюпени птици. Изхвърляните от гнездата млади птици веднага били поглъщани от алигаторите, които постоянно се навъртали около гнездовите колонии и очаквали подобни жертви. В тези гнездови колонии често гнездели стотици и даже хиляди птици и броят на доброволно изхвърлените или случайно изпаднали малки птици от гнездата не бил никак малък. А добиването на такива безпомощни жертви от алигаторите не било трудно, тъй като те постоянно се навъртали около птичите колонии.

За да докажат своята теза за странните взаимоотношения между птиците и алигаторите във Флорида и р. Мисисипи, учените извършили и следния експеримент. На един от речните острови, на който имало достатъчно удобни за гнездене дървета, но нямало гнездящи птичи колонии, те поставили няколко умело направени чучела на алигатори във водата. Не след дълго по дърветата на острова се появили първите птичи гнезда и той скоро бил заселен от нова колония. Подобно наблюдение в Националния парк Евърглейдс също потвърдило, че над 95 % от птичите гнездови колонии в него също се „охраняват“ постоянно и щателно от алигатори.

Наблюденията на г-р Л. Нел и неговите колеги още един път показват какви странни и понякога трудно обясними взаимоотношения между толкова разнородни видове животни могат да се създават в процеса на съвместната им еволюция.

По PLoS ONE