

ПРИРОДА

12 07



В НОМЕРЕ:**3 СИБИРСКИЙ ЗИН**

К 50-летию Сибирского отделения
Российской академии наук

Харитонов А.Ю.

**Институт систематики и экологии
животных СО РАН, год рождения —
1944... (4)**

Мордкович В.Г.

**Сибирская кладовая
зооразнообразия (10)**

Попова О.Н.

Трудолюбивая стрекоза (16)

Равкин Ю.С.

Мониторинг животного мира (17)

Баркалов А.В.

**Алтай — источник новых видов
насекомых (24)**

Ядрёнкина Е.Н.

Завоевания ротана (24)

Резникова Ж.И.

**Маленькие труженики большой
науки (25)**

Сергеев М.Г.

Загадки итальянской саранчи (35)

Потапов М.А.

Школа любви (37)

Литвинов Ю.Н., Гармс А.И.

**Джунгарские хомячки —
лабораторные животные (42)**

44 Бочкарев Н.Г.

Эхо активности ядер галактик

Активные галактические ядра выделяют в виде излучения колоссальную энергию. Метод эхокартирования, основанный на анализе переменности профилей спектральных линий, дает уникальную информацию о структуре области излучения.

53 Леонюк Н.И.

**Кристаллические бораты —
оптические материалы
нового поколения**

На основе выращенных кристаллических боратов сложного химического состава можно конструировать новые высокотехнологичные активно-нелинейные устройства для научных, медицинских и промышленных целей.

Научные сообщения**61 Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Столба В.Ф.**

**Исследования палеолимнологов
в Крыму**

63 Сенников А.Г.

**Беспокойная судьба
древних окаменелостей**

73**Новости науки**

Звезда с хвостом (73). Пленки из углеродных нанотрубок защищают от СВЧ-излучения (73). Открыт самый тяжелый изотоп кремния (74). Упрочнение полимеров углеродными нанотрубками (74). Углеродные нанотрубки для очистки сточных вод (74). Яйца-болтуны у кожистой черепахи. Семенов Д.В. (75). Метод идентификации леопарда (76). Ледовые течения на поверхности Антарктиды (76). Формы нахождения молибдена, таллия и теллура в океане (77). Динамика вод Черного моря (77). Раскопки на Подоле Боровицкого холма. Панова Т.Д., Осипов Д.О. (78).
Коротко (52, 60)

Рецензии**79 Зубрева М.Ю.**

Одиссея Давида Арманда

82**Новые книги****84 Баскин Л.М.**

**Почему медведи не любят
фотографов**

В конце номера**87**

**Тематический и авторский
указатели за 2007 год**

CONTENTS:

- 3 SIBERIAN ZIN**
 To 50th Anniversary of Siberian Branch
 of Russian Academy of Sciences
Kharitonov A.Yu.
**Institute of Taxonomy and Ecology
 of Animals of Siberian Branch RAN,
 the Year of Foundation 1944 (4)**
Mordkovitch V.G.
Siberian Treasury of Zoodiversity (10)
Popova O.N.
Industrious Dragonfly (16)
Ravkin Yu.S.
Monitoring of Animal Kingdom (17)
Barkalov A.V.
**Altai – a Source
 of New Insect Species (24)**
Yadrenkina E.N.
Conquests of Ratan (24)
Reznikova Zh.I.
Little Toilers of Big Science (25)
Sergeev M.G.
Riddles of Italian Locust (35)
Potapov M.A.
School of Love (37)
Litvinov Yu.N., Garms A.I.
**Dwarf Hamsters –
 Laboratory Animals (42)**

- 44 Bochkarev N.G.**
Galactic Nuclei Activity Echo
*Active galactic nuclei release in the form of electromag-
 netic radiation enormous amounts of energy. The rever-
 beration («echo») mapping method based on spectral
 line profile variability analysis yields unrivalled infor-
 mation about the structure of the emitting region.*

- 53 Leonyuk N.I.**
**Crystalline Borates:
 A New Generation Optical Materials**
*Artificially grown crystalline borates with complex
 chemical composition allow to construct new high-tech
 active non-linear devices for science, medicine and
 industry.*

Scientific Communications

- 61 Subetto D.A., Sapelko T.V., Stolba V.F.**
**Research of Paleolimnologists
 in Crimea**
63 Sennikov A.G.
Restless Fate of Ancient Fossils

- 73 Science News**
 A Tailed Star (73). Carbon Nanotubes Films Shield from SHF
 Radiation (73). Heaviest Silicon Isotope Is Discovered (74).
 Strengthening of Polymers by Carbon Nanotubes (74). Car-
 bone Nanotubes for Sewage Disposal (74). Addle Eggs in
 Leatherbacks. **Semenov D.V.** (75). Method of Leopard Identifi-
 cation (76). Ice Flows at Antarctic Surface (76). Forms of
 Molybdenum, Thallium and Tellurium in Ocean (77). Black
 Sea Waters Dynamics (77). Excavations at Podol of Borov-
 itzky Hill. **Panova T.D., Osipov D.O.** (78).
In Brief (52, 60)

Book Reviews

- 79 Zubreva M.Yu.**
Odyssey of David Armand

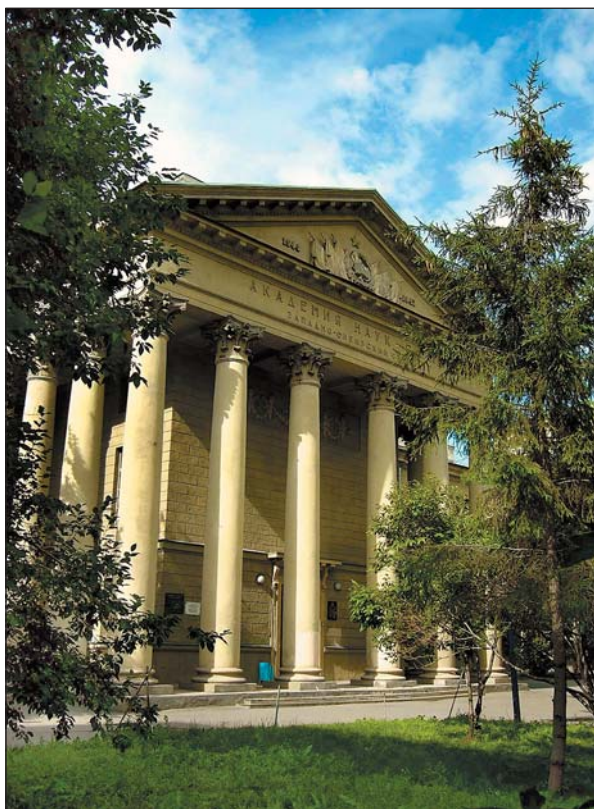
82 New Books

- 84 Baskin L.M.**
**Why Bears Do Not Like
 Photographers**

- 87 Subject and Author Index
 for 2007**

СИБИРСКИЙ ЗИН

К 50-летию Сибирского отделения Российской академии наук



В нашей стране развитие науки о животных связано в первую очередь с Зоологическим институтом РАН (ЗИНом)*, в стенах которого на протяжении 175 лет трудилось целое созвездие выдающихся зоологов – создателей научных школ, авторов классических учебников, на которых выросло не одно поколение биологов. Однако очень уж велика наша страна, и даже столь крупному академическому учреждению не под силу обследовать животный мир всех ее дальних и порой труднодоступных уголков, к коим относится и Сибирь. Изучением биоразнообразия и состояния ресурсов животного мира этой части России, а также разработкой методов их рационального использования, контроля и охраны занимаются научные сотрудники Института систематики и экологии животных СО РАН (ИСиЭЖ). Современное и полностью отвечающее научной тематике название институт получил в 1993 г., однако его история началась в годы Великой Отечественной войны, т.е. еще даже до рождения Сибирского отделения АН СССР, 50-летний юбилей которого отмечается в текущем году. Июньский номер «Природы» частично посвящен ровеснику СО РАН и первому в Сибири институту генетического профиля – Институту цитологии и генетики СО РАН**. В предлагаемой подборке – рассказ об истории и современной жизни ИСиЭЖ, первого среди академических учреждений Сибири биологического института и до сих пор единственного в азиатской части России зоологического.

* Alma mater отечественной зоологии. 170 лет Зоологическому институту РАН // Природа. 2002. №8. С.10–48.

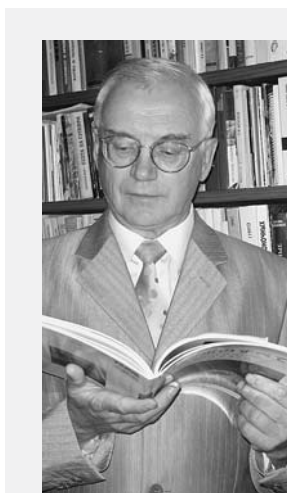
** Первый генетический в Сибири. К 50-летию Института цитологии и генетики СО РАН // Природа. 2007. №6. С.3–30.

Институт систематики и экологии животных СО РАН, год рождения — 1944...

А.Ю.Харитонов

Создание в Новосибирске в годы Великой Отечественной войны научного центра преследовало прежде всего понятную для того времени цель: оценить и поставить на службу народу неисчерпаемые, как тогда казалось, природные ресурсы Сибири. В состав организованного Западно-Сибирского филиала АН СССР одним из первых вошел Медико-биологический институт. В 1944 г. возглавлял его известный ботаник и один из инициаторов создания Западно-Сибирского филиала В.В.Ревердатто, под руководством которого одновременно проводились флористические, геоботанические, зоологические исследования и, что было особенно важно для военного времени, изучались свойства лекарственных растений. В 1951 г. на волне гонений на биологов, начавшихся после сессии ВАСХНИЛ 1948 г., Ревердатто отстранили от должности как «стоявшего на неправильных антимичуринских позициях».

В 50-х годах приоритет приобрели зоологические исследования (инвентаризация фауны, систематика и экология животных) под руководством систематика-морфолога С.У.Строганова (директора с 1951 г.) и энтомолога А.И.Черепанова (директора с 1955 по 1978 гг.). Расширение фундаментальных об-



Анатолий Юрьевич Харитонов, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе и заведующий лабораторией экологии насекомых. Область научных интересов — зоогеография, экология животных, в частности фауна и экология стрекоз.

щебиологических исследований не соответствовало заложенной в названии института научной идеологии, и в 1953 г. он был переименован в Биологический институт. В 1955 г. из него выделилась лаборатория ботаники и геоботаники, составившая научную основу новой академической структуры — Центрального сибирского ботанического сада.

В 1958 г. Биологический институт вошел в состав Сибирского отделения АН СССР, при этом в его задачи помимо исследования животного мира и почв Сибири входила также разработка научных основ ведения лесного хозяйства. Однако в 1968 г. лаборатория почвоведения была реорганизована в самостоятельный Институт почвоведения и агрохимии, а в 1975 г. отдел леса вошел в состав Института леса и древесины. В 1993 г., после того как в Институт цитологии и генетики была переведена лаборатория цитологии и апомиксиса растений, Биологический институт был переименован в Институт систематики и экологии животных (ИСиЭЖ). Основная заслуга в изменении и структуры, и научной идеологии института принадлежит В.И.Евсикову — биологу широкого научного кругозора (от зоологии и генетики до этологии и популяционной экологии) и талантливому организатору науки. Вадим Иванович — один из первых «рекрутов» Института цитологии и генетики, уче-

ник и соратник первого директора этого института Д.К.Беляева — возглавлял наш институт с 1978 г. по 2006 г., а в настоящее время руководит отделом репродукции и гомеостаза популяций животных. С середины 2006 г. директором стал В.В.Глунов, в сфере научных интересов которого — исследования инфекционной патологии насекомых и разработка методов микробиологического контроля вредителей лесного и сельского хозяйства.

В результате реорганизаций и отделения нескольких научных подразделений, перешедших в другие институты или ставших основой для создания новых, штат ИСиЭЖ уменьшился вдвое (сейчас работает 184 человека, из них 111 научных сотрудников, из которых 17 имеют степень доктора наук и 81 — кандидата). Ныне в его состав входит восемь научных лабораторий и три научные опорные базы (Чановская и Карасукская экспедиционные базы, а также Телецкий филиал), в которых ведутся теоретические, экспериментальные и экспедиционные исследования, позволяющие институту решать фундаментальные задачи современной биологии.

Такова краткая история института, но за сухим перечнем дат и событий стоят многие десятки имен замечательных биологов, бесконечно преданных своему делу, оставивших яркий след в науке. Многие из них приехали в Сибирь из столичных научных центров в период организации Сибирского отделения АН СССР. Атмосфера романтики и энтузиазма как магнитом притягивала в Новосибирск самых активных и талантливых ученых, которых влекли в Сибирь возможность и широта новых исследований. Особой радостью для биологов стало создание в новосибирском Академгородке Института цитологии и генетики, где нашли «землю обетованную» некогда опальные генетики. С тех пор и поныне сотрудников этого и нашего институтов связывают не только научные интересы, но и тесная дружба.

Каждое из нынешних подразделений ИСиЭЖ имеет свою историю. Старейшее из них — зоологический музей, в создание и развитие которого особенно большой вклад внесли зоологи А.И.Янушевич, Б.С.Юдин и энтомолог Г.С.Золотаренко, а с 1987 г. его возглавляет В.Г.Мордкович. За более чем полувекующую деятельность в зоомузее собрана крупнейшая в зауральской России коллекция животных, в основном обитающих в Сибири и на сопредельных территориях. По сравнению с сокровищами Зоологического института РАН экспозиция нашего музея невелика, но и она притягивает к себе множество посетителей, которые приходят посмотреть на застывшие в музейных витринах экспонаты и послушать увлекательные рассказы специалистов.

В числе самых давних и славных традиций института — энтомологические. Одна часть энтомологов всегда составляла основу кадрового



Сатурния Артемиды (*Actias artemis*).

Здесь и далее фото В.В.Дубатолова



Весенняя ореховая пяденица (*Apochima juglansiararia*).



Малая черемуховая хвостатка (*Nordmannia prunoides*) на соцветии спиреи.



Черноголовый хохотун (*Larus ichthyaetus*).

Здесь и далее фото А.К.Юрлова

состава зоологического музея, другая — на протяжении четверти века трудилась в лаборатории энтомологии, в 1981 г. преобразованную в лабораторию экологии насекомых. Излюбленными объектами энтомологов-экологов стали кровососущие и паразитические двукрылые, прямокрылые, коллемболы, муравьи и стрекозы. Выбор их не случаен. Комары, мошки, мокрецы, слепни — весь этот так называемый гнус в Сибири составляет особый «антиресурс» (не зная, как ему противостоять, и другим, истинным ресурсам рад не будешь). Вот и колесят наши «гнусные» сотрудники (по большей части женщины — им обычно самое трудное!) по тундре, тайге и болотам, выясняя видовой состав и тончайшие подробности образа жизни кровососов. Это позволяет находить пути и способы защиты человека от гнуса, хотя, как выяснилось, осуществить вековую мечту северного человечества и избавиться

тайгу от гнуса тоже нельзя. Именно они, эти кровососы, обеспечивают плодородие скудной здешней земле, возвращая в своих неисчислимых телах микроэлементы, вымытые из почвы и снесенные дождевыми и талыми водами в затопляемые понижения рельефа. Засохла бы без них тайга, исчезла как ландшафт.

Не столь разнообразны и многочисленны в Сибири прямокрылые насекомые — саранча да кузнечики, но именно они — истинные хозяева в азиатских степях, как антилопы и другие копытные в африканской саванне. Как тайга без гнуса, так степь не может жить без саранчовых — и прирост растительной массы отрегулируют, и землю удобряют. Да так точно все сделают, как никакой агроном бы не сумел. Хотя на полях пахотных и залежных ломается этот тонкий природный механизм, и слово «саранча» приобретает более привычное для нас, грозное значение. В последние годы в связи с резким сокращением площади пахотных угодий и превращением их в залежь сибирская кобылка, итальянский прус и другие виды саранчовых несметно размножились и не на шутку переполошили хлеборобов на юге Западной Сибири. Ох, как пригодились здесь точные знания образа жизни местной саранчи в ограждении полей от их нашествия! Сотрудник лаборатории экологии насекомых, известный энтомолог и член международной комиссии по саранчовым М.Г.Сергеев готов дать прогноз и рекомендации по ситуации с этими насекомыми не только в Сибири, но и далеко за ее пределами.

Коллемболы, или ногохвостки, — едва видимые невооруженным глазом крошечные существа, — несмотря на малый рост тоже проделывают огромную биоценологическую работу, особенно в почвообразовательном процессе, и чем дальше к северу, тем их роль значительнее, а в тундре они становятся просто незаменимыми.



Сибирский снегирь, или урагус (*Uragus sibiricus*).



Турухтан (*Philomachus pugnax*).

Муравьи в рекламе не нуждаются, но не все знают, например, что у них открыта сложная система коммуникации, во многом превышающая возможности символического языка танцев пчел. Муравьи передают информацию о координатах и числе объектов, поскольку способны, как выяснилось, использовать простейшие закономерности и совершать элементарные арифметические операции. Уникальные работы по изучению поведения и регулирующей роли муравьев в экосистемах обобщены сотрудницей лаборатории Ж.И.Резниковой в ее докторской диссертации и серии учебных пособий, получивших широкую известность в мире.

Стрекоз тоже представлять никому не надо. Однако нельзя не вспомнить о корифее одонтологии (науки о стрекозах) Б.Ф.Бельшеве — основателе единственной в стране одонтологической научной школы, почетного члена Международного общества одонтологов. Борис Федорович первым описал сибирскую фауну стрекоз, состоящую из более сотни видов, создал оригинальную систему зоогеографического районирования мировой суши на основании распространения стрекоз и подтвердил реальность дрейфа континентов на примере распространения этих насекомых.

Около 40 лет ведется в нашем институте изучение фауны, морфологии, систематики, биологии, популяционной экологии гельминтов — паразитов животных Сибири. Вначале этим занималась группа сотрудников лаборатории биоценологии, преобразованная в 1972 г. в самостоятельную лабораторию гельминтологии, которую возглавлял А.А.Мозговой. С 1998 г. она переименована в лабораторию паразитоценологии, которой руководит В.Д.Гуляев. Сотрудники лаборатории описали сотни новых для науки видов, расшифровали хитрые жизненные циклы гельминтов, однако немало еще важных, интересных, но пока нерешен-



Широконоска (*Anas clypeata*).

ных проблем. Так, не объяснен пока феномен отсутствия описторхоза (тяжелого заболевания людей и животных, вызываемого плоскими червями класса трематод — *Opisthorchis felineus*) в бассейне оз. Чаны. Это знаменитое озеро оказалось своеобразным стерильным оазисом посреди крупнейшего в мире описторхозного очага — Обского бассейна. Все компоненты для развития описторхоза есть, а самого паразита нет. Одна из проверяемых сейчас гипотез — особые свойства иммунной системы чановских моллюсков, блокирующие развитие личинок паразита и разрывающие его жизненный цикл.

Наиболее крупное подразделение в институте — лаборатория зоологического мониторинга, сотрудники которой под руководством Ю.С.Равкина следят за состоянием ресурсов охотничьих видов птиц на территории Западно-Сибирской равнины и численностью редких и исчезающих видов животных. При лаборатории создан пер-



Травник (*Tringa totanus*).



Белая куропатка (*Lagopus lagopus*).



Алтайская пищуха (*Ochotona alpina*).

вый в стране банк зоологических данных коллективного пользования, в котором с 1981 г. уже накоплено более 20 млн показателей численности по 710 видам животных. Кроме сотрудников лаборатории, услугами банка пользуются исследователи 33 научных, учебных и практических учреждений.

С первых дней создания института существует лаборатория экологических основ охраны генофонда животных, которой в разные годы заведовали такие известные зоологи, как С.У.Строганов, К.Т.Юрлов, Б.С.Юдин. В 1998 г. в ее состав вошла тематическая группа по разведению полезных и редких видов животных под руководством В.А.Шило. С 2003 г. лабораторию возглавляет М.А.Потапов.

Лаборатория физиологических адаптаций позвоночных животных, ранее именуемая лабора-

торией экологического прогнозирования, была основана А.А.Максимовым в середине 50-х годов в связи с необходимостью изучения водяной полвки — подлинного бича сельского хозяйства в сибирской лесостепи. Двадцать лет назад лабораторию возглавил М.П.Мошкин, и центр исследовательских интересов был перенесен на изучение иммуно-нейроэндокринных взаимодействий в механизмах популяционной защиты от инфекций. Под руководством сотрудника лаборатории Д.В.Терновского изучены основные закономерности размножения и развития хищников семейства куницеобразных — ценных пушных зверей. Эти работы принесли немало открытий. Выяснилось, в частности, что горностаи практикуют такой необычный способ решения репродуктивной проблемы, как покрытие слепых и беспомощных новорожденных самочек взрослым самцом, к тому же подчас собственным отцом. Беременность наступает позже, когда самка вырастет. Была детально прослежена судьба 58 самок, покрытых в вольере в возрасте от 17 до 134 дней. Вот, например, опубликованный «анамнез» одной юной горностаевой особи: «Самая молодая мелкая 17-дневная самка в день покрытия имела длину тела 112 мм, была беспомощная, глухая, слепая, беззубая, питалась исключительно материнским молоком и еле-еле передвигалась ползком. Масса тела (18 г) составляла по отношению к массе тела самца-производителя 6%! Через 337 дней после спаривания она родила 13 детенышей и успешно их выкормила»*. Это открытие так озадачило ученых, что Академией наук даже была создана комиссия для проверки результатов. Все подтвердилось!

* Терновский ДВ, Терновская ЮГ. Экология куницеобразных. Новосибирск, 1994. С.44.



Монгольская жаба (*Bufo raddeii*), которую недаром иногда называют сибирской песчаной жабой.

Фото В.В.Дубатолова



Восточноазиатская лесная мышь (*Apodemus peninsulae*). Обычный обитатель сибирской тайги.

Здесь и далее фото С.А.Абрамова

Лаборатория популяционной экологии и феногенетики плодовитости животных — самая молодая в институте, но образована она была в 2004 г. на базе двух почтенных по возрасту подразделений: лаборатории популяционной экологии и генетики животных (заведующий В.И.Евсиков) и тематической группы экологии птиц (руководитель А.К.Юрлов). В настоящее время объединенный коллектив изучает структурно-функциональную и пространственную организацию, продуктивность и механизмы регуляции численности популяций мелких млекопитающих и птиц. Орнитологи лаборатории выявили основные пути миграций и места зимовок птиц, гнездящихся на юге Западной Сибири и мигрирующих через эту территорию. Разработана система краткосрочного прогнозирования продуктивности и численности популяций водоплавающих птиц.

С начала 80-х годов группа ихтиологии и гидробиологии исследуют популяционную организацию гидробионтов и микроэволюцию рыб в водоемах Западной Сибири. Изучена пространственная организация популяций карповых и сиговых в водоемах бассейнов рек Обь и Енисей. Так, например, выявлено внутривидовое дифференцирование язя и плотвы на пространственно разобщенные группы в оз.Чаны и Новосибирском водохранилище. Изучена популяционная и внутривидовая структура сигов Телецкого озера. На основании результатов морфологического и биологического анализов симпатрических сигов Телецкого озера доказана видовая самостоятельность сига Правдина. Исследуются пути сукцессии ихтиоценозов водоемов Западной Сибири под воздействием комплекса интродуцированных видов (сазана, леща, судака, амурского карася и верховки) и экологические последствия этого процесса. Получены уникальные данные по структурной организации зоопланктонных сообществ субальпийских озер, расположенных в верхнем течении Большого Енисея и на плато Укок на Алтае.

Кроме городских лабораторий для проведения полевых исследований институт располагает экспедиционными базами, созданными в различных ландшафтных зонах Сибири. В Кулундинской степи, на юге Западной Сибири, организован Карасукский стационар для изучения животных степных и озерных экосистем и разведения в неволе редких и исчезающих видов птиц и зверей. В Барабинской лесостепи на оз.Чаны, одном из крупнейших мелководных озер мира, создан Чановский стационар, на котором проводятся исследования экологии рыб, оловодных птиц и амфибионтных насекомых, выясняются пути функционирования паразитарных систем. В черневой тайге Алтая на берегу Телецкого озера основана Телецкая научная база для изучения экологии копытных и мелких млекопитающих, гельминтологических, энтомологических и гидробиологических иссле-



Бурый медведь (*Ursus arctos*).



Сибирская косуля (*Capreolus pygargus*), которая после многолетних споров систематиков наконец приобрела видовой статус.

дований. Наши экспедиционные базы открыты для всех коллег, желающих внести свою лепту в изучение животного мира Сибири!

Конечно, главное дело любого академического учреждения — фундаментальная наука, но от практики она неотделима. Наши сотрудники усовершенствовали технологии применения микробиологических средств защиты растений, разработали интегрированные системы защиты сельскохозяйственных животных от кровососущих членистоногих и оводов, а также технологии применения инсектицидных аэрозолей. Предложены рекомендации по ограничению численности водной полевки, саранчовых и других проблемных видов. Собраны данные о состоянии ресурсов промысловых животных и проведена зоологическая паспортизация многих десятков заповедников, заказников и памятников природы. Опубликованы разделы и очерки более чем в двух десятках национальных и региональных Красных книг.

И этим список выполненных в институте прикладных разработок не ограничивается, их несколько десятков.

Институт активно сотрудничает не только со всеми академическими институтами зоологического профиля и многими биологическими кафедрами сибирских вузов, но поддерживает тесные связи с научными учреждениями десятков стран дальнего зарубежья и почти со всеми странами ближнего зарубежья.

За 30 лет существования диссертационного совета защищено 280 кандидатских и докторских диссертаций по специальностям «зоология» и «энтомология», треть из которых выполнена аспирантами института. Это значит, что даже в нынешнее непростое время не ослабевает интерес молодежи к биологическим исследованиям, и это вселяет надежду, что у нашего сибирского зоологического института есть хорошие перспективы и надежда на дальнейшее успешное развитие. ■

Сибирская кладовая зооразнообразия

В.Г.Мордкович

Как известно, биоразнообразие — предмет пристального внимания человека с самых древних времен, а изучение видового богатства неразрывно связано с его оценкой. Инвентаризация же и анализ зоологических ресурсов — одна из самых сложных задач, и причин тому много. Во-первых, число видов животных на два-три порядка величин больше, чем любых других организмов и по разным оценкам составляет от 30 до 100 млн видов, количество экземпляров которых воистину неисчислимо. Во-вторых, животные, в отличие от растений, ведут подвижный образ жизни, отличаясь при этом



Вячеслав Генрихович Мордкович, доктор биологических наук, профессор, заведующий зоологическим музеем Института систематики и экологии животных СО РАН. Область научных интересов — почвенная зоология, биогеография и музейное дело.

сложнейшим поведением и ритмами развития, часто меняясь в процессе метаморфоза до неузнаваемости. В-третьих, животные связаны друг с другом, с другими организмами и с аби-

отическими условиями среды, поэтому живут не поодиночке, а популяциями и сообществами со сложной внутренней структурой. В-четвертых, геоморфологическая, климатическая, гео-

© Мордкович В.Г., 2007

химическая и прочая дифференциация пространства принуждает животных формировать мобильные комбинации видов относительно структуры территории обитания. В-пятых, перманентный рост разнообразия благодаря новым открытиям ученых заставляет постоянно перестраивать классификацию животных, пополнять критерии их распознавания, проводить ревизии уже известных таксонов, выделять новые, а также готовить специалистов, владеющих новейшими методами классифицирования. Наконец, в-шестых, самый красочный рассказ о том или ином животном и даже подробнейшее его описание значимы только при наличии типовых экземпляров, зафиксированных в коллекции. Такие эталоны должны быть доступны всем специалистам, поэтому хранятся не в частных собраниях, а в государственных или ведомственных музеях под присмотром квалифицированных специалистов-кураторов. Без этого люди, занимающиеся научными и тем более прикладными исследованиями, могут легко перепутать близкие или внешне похожие, но разные по функции в природе виды животных, что ведет к необратимым ошибкам, например в таких отраслях, как генная инженерия, интродукция, гибридизация, медицинская паразитология и др.

Богата ли Сибирь животными?

О трудоемкости инвентаризации животных можно судить по отсутствию точной цифры зооразнообразия как для планеты в целом, так и для большинства ее регионов. В Сибири такая оценка осложняется еще и своими специфическими обстоятельствами. Прежде всего это острое несоответствие сибирских просторов и количества зоологов, занимающихся инвентаризацией. Площадь тер-

ритории, подведомственной Сибирскому отделению РАН, а значит, и нашему институту, составляет около 20 млн км², а численность наших научных сотрудников, раньше и теперь, не превышает 100 человек. Стало быть, на каждого специалиста приходится 200 тыс. км² сибирской территории, представленной главным образом поречьями трех сибирских рек: Оби, Енисея и Лены, бассейны которых входят в пятерку крупнейших в мире. Учитывая, что интересы специалистов по необходимости нередко распространяются далеко за пределы своего региона (за Урал, в Среднюю Азию, Дальний Восток, Монголию, Китай и т.д.), инвентаризация сибирской фауны, даже при содействии столичной науки, крайне затруднительна. Маркером неблагополучия здесь служит отсутствие региональных определителей подавляющего большинства групп животных Сибири. Поэтому вопрос: «сколько видов обитает на территории Сибири?» по-прежнему остается без внятного ответа.

Наиболее благополучен в этом плане класс млекопитающих. В мире их всего около 4 тыс. видов, и изучены они лучше других представителей животного мира [1–4]. Тем не менее, по данным разных авторов, из-за разногласий в систематике цифра видового богатства млекопитающих в Сибири колеблется между 137 и 155. В любом случае это всего лишь 3.5–4% мирового разнообразия этого класса, но даже с такими скромными показателями Сибирь вмещает более 60% общего фонда видового разнообразия млекопитающих в современной России. В сибирской териофауне целый ряд эндемиков: байкальская нерпа, забайкальская горная полевка, длиннохвостый хомячок, даурская пищуха, сурок-тарбаган, даурский суслик, даурский и алтайский цокоры, полевка Брандта, алтайская мышовка, пятипалый карликовый

тушканчик, полевка Миддендорфа, северо-сибирская полевка и др. В целом степень неповторимости сибирской фауны млекопитающих составляет 10% от их общего разнообразия в этом регионе.

Птицы представлены в Сибири разнообразнее, чем млекопитающие. По данным нашей лаборатории зоомониторинга, здесь гнездятся 472 вида 205 родов и 63 семейств, а еще 100–130 видов перелетных или залетных птиц [5–8]. В сравнении с фауной бывшего СССР (примерно 875 видов), на долю Сибири приходилось около 70% орниторазнообразия. В России эта цифра на 8–10% больше.

Рыб, в противовес наземным позвоночным животным, всего 75 видов, что составляет около 20% от общего разнообразия рыб России. Так, из 78 видов отряда сельдеобразных в сибирских водоемах живут лишь 23; из 77 видов карпообразных — только 15; из 113 видов окунеобразных — лишь 23 и т.д. Причина такого обеднения кроется в суровости экологических условий Ледовитого океана и его «щупалец» — сибирских рек, а также сильно промерзающих озер континентальной Сибири. Зато в некоторых сибирских озерах (таких как Байкал, Таймырское, Телецкое и др.) живут неповторимые в других местах планеты виды, поэтому степень эндемизма сибирской ихтиофауны достигает 30%.

Главный резерв биоразнообразия любой территории, в том числе Сибири, — беспозвоночные, прежде всего членистоногие. Наиболее крупная доля (около 80%) приходится на представителей класса насекомых, остальное главным образом на хелицерообразных — пауков, клещей, сенокосцев и др. Как и в предыдущих случаях, разнообразие сибирских членистоногих невысокое (около 30 тыс. видов). Однако при сравнении сибирской энтомофауны с европейской и дальневосточной оказалось, что в ней присутству-

ет примерно половина видов насекомых, известных для нашей страны.

Неравномерность распределения

Особенно наглядно биоразнообразие меняется в соответствии с градиентом инсоляции от экватора к северному и южному полюсам. Вторично вдоль этой шкалы изменяются и другие экологические факторы: влажность, температура, геохимия и т.д., что и формирует закономерный ряд широтных географических зон. Лучшее всего такая зональность выражена на очень плоской Западно-Сибирской равнине. Здесь границы широтных зон отклоняются от параллелей всего на 10–15°. Казалось бы, сам бог велел использовать именно этот полигон для изучения зональности биоразнообразия. Однако традиционно в качестве модельных принимаются широтно-зональные шкалы через Восточно-Европейскую или Северо-Американскую равнины, хотя там характер широтной зональности далек от идеала. Использованию западносибирского полигона для оценок биоразнообразия мешает распространенное заблуждение о необычайной бедности фауны Западной Сибири и ее слабой изученности, на большей части территории которой, в частности, якобы никогда «не ступала нога энтомолога» [10].

Между тем энтомологи в своем интересе к Западно-Сибирской равнине ничуть не уступают маммологам и орнитологам. Лучшим свидетельством этого служит издание многих сотен статей, десятков тематических сборников, в том числе известных серий «Фауна Сибири» (22 выпуска) и «Новые и малоизвестные виды фауны Сибири» (22 выпуска), и более 30 монографий по разным группам членистоногих.

В результате системного фаунистического анализа сибир-

ские энтомологи зарегистрировали в Западно-Сибирской низменности более 1500 видов отряда жесткокрылых (Coleoptera), более 530 видов отряда чешуекрылых (Lepidoptera), около 500 видов отряда двукрылых (Diptera), более 164 видов отряда полужесткокрылых (Hemiptera), 66 видов стрекоз (Odonata), а также 415 видов клещей (Acari), в том числе 288 видов из 128 родов панцирных (Oribatei) и 95 видов из 30 родов гамазовых (Gamasida); более 77 видов ногохвосток (Collembola), 500 видов пауков (Aranei) и т.д. [11].

Фаунистические исследования служат основой для крупных обобщений в области зоо- и биогеографии. Например, сделано эмпирическое обобщение по фауногенезу бабочек-медведиц умеренного климатического пояса северного полушария Земли на основе сопряженного анализа современных ареалов бабочек и палеогеографических реконструкций климата и растительности, с которой связаны эти бабочки. Объяснены причины современных различий многих ареалов; выявлены основные очаги родообразования медведиц Голарктики: главный — средиземноморский, второстепенный — палеоархеарктический [12].

В настоящее время видовое богатство Западной Сибири оценивается примерно в 10 тыс. видов, значительную часть которых составляют беспозвоночные членистоногие животные (более 4 тыс. видов более 100 семейств). По их разнообразию фауна Западно-Сибирской низменности только в 1.3 раза уступает фаунам окружающих территорий Урала и Алтае-Саянской горной страны и в 1.2 раза превосходит фауну Средне-Сибирского плоскогорья [11]. Общий уровень биоразнообразия меняется в широтно-зональном градиенте Западно-Сибирской равнины колоколообразно: растет от тундровой зоны к лесостепной в шесть раз, а затем в три раза снижается в степной зоне.

В ряду широтных зон по сумме параметров биоразнообразия ярко выделяется лесостепь. Узкую полосу, притупившуюся между лесной и степной зонами, по иронии судьбы названную лесостепью, относили то к лесной, то к степной ландшафтным зонам, то обозначали как отдельную, но всего лишь переходную категорию между лесом и степью. При любом из этих статусов оставалась главная интрига: лесостепь — спорная территория между древо- и травостоем в их битве за жизненное пространство или оригинальный ландшафт со специфическими зональными экосистемами и видами биоты. В этом споре приоритет пока за первой позицией. Однако ей все более настойчиво противоречат многочисленные данные о господстве на лесостепных семиаридных широтах не лесных и не степных, а редколесно-луговых фитоценозов, а также почв не подзолистых, как в настоящих лесах, и не черноземов и каштаноземов, как в типичных степях, а серых лесных черноземно-луговых, лугово-черноземных, дерновых и луговых солодей, луговых солонцов и солончаков, в том числе и на плакорах. Весьма высока и фаунистическая самобытность западносибирской лесостепи.

Сегодня лесостепь резонно считать бореальной саванной — прямой наследницей саванны перигляциальной, которая именно на широтах 50–54°с.ш., судя по палеонтологическим материалам, была представлена наиболее выразительно. С природоохранных позиций лесостепь — мощнейший и чрезвычайно мобильный резерват биоразнообразия, который обслуживает соседние биомы, снабжая их экосистемы как ценообразующими видами, так и видами, дестабилизирующими структуру сообществ. Поэтому этот феноменальный комплекс, представляющий собой целостную, очень гибкую систе-



Одна из орнитологических витрин зоомузея.

му, требует повышенного внимания и аккуратности в природопользовании [13].

Творцы зооразнообразия

Если относительно Бога как конструктора биоразнообразия существуют какие-то сомнения, то систематики, безусловно, — творцы новых образцов жизни в огромном количестве. Ежегодно в мире открываются тысячи новых видов из ранее малодоступных мест: глухих тропических лесов, океанских глубин, высокогорий, пещер и т.д. Однако еще больше новых видов выявляется с помощью современных методов микроскопии, цитогенетики, биохимии путем дифференциации уже известных видов. Наш институт —



Группа колонков — самого многочисленного вида семейства куницеобразных на юге Западной Сибири.



Фрагмент музейной коллекции рептилий.

один из крупнейших центров систематики в стране, в котором не менее 30% научных сотрудников зоологического музея, лабораторий экологии насекомых, паразитологии и ихтиологии, охраны генофонда занимаются усовершенствованием классификации животных. Основой такой работы служит сравнение многочисленных видов животных относительно ранее сформированной системы признаков (анатомических, морфологических, цитогенетических, экологических, географических). Систематик оперирует по возможности наибольшим количеством видов, составляющих таксон более крупного ранга (род, семейство и т.д.), из как можно большего числа мест в рамках всего географического ареала видов, собранных в разные века, циклы лет и сезоны года. В реальности это (особенно для насекомых) могут быть сотни или даже тысячи видов и десятки тысяч их особей.

В нашем институте примером такого исследования слу-

жит крупное обобщение по систематике мух-журчалок рода *Cbeilosia* Старого Света с детальным анализом старых и множества новых таксономических признаков 252 видов. Из них 87 описаны автором, с полным каталогом видов 3/4 земной суши, с подробной характеристикой их географических ареалов, путей распространения и связей с кормовыми растениями [14]. На базе всех имеющихся литературных и собственных многолетних данных сделан новый синтез по систематике и филогении жуков-трубковертов мировой фауны. Реконструированы филогенетические связи семейств надсемейства долгоносикообразных, а также их надвидовых таксонов. Описаны 389 новых для науки таксонов [15].

Проводятся аналогичные исследования по систематике более чем 50 семейств насекомых, хелицерных, паразитических червей и других групп животных. За последние пять лет открыто, описано, зарегистриро-

вано и введено в зоологическую классификацию более 750 новых видов из 22 новых родов членистоногих: пауков, клещей, насекомых (чешуекрылых, жесткокрылых, двукрылых). Эти работы основательно пополнили цифру общего биоразнообразия планеты, вынудили существенно изменить систему таксономических признаков и привели к перестройке многих важнейших звеньев классификации типа членистоногих животных.

Сибирский пантеон зооразнообразия

Биоразнообразие относится к планетарным параметрам с очень неустойчивым состоянием. В ходе эволюции биосферы оно то увеличивается, то уменьшается, а состав видов меняется. В последние столетия под воздействием глобальных климатических изменений, в том числе из-за хозяйственной деятельности человека, био-, особенно зооразнообразие катастрофически сокращается. В противовес этому растет количество животных в музеях, в которых благодаря стараниям зоологов зафиксировано все, что создала живая природа на протяжении тысячелетий. Обширные музейные коллекции позволяют документально воспроизвести палитру зооразнообразия, выяснить, какие виды, когда и как, в каком сочетании жили на Земле в разные периоды ее истории.

Коллекции животных создают частные собиратели, биологические подразделения университетов, средних школ, краеведческих музеев. Однако коллекционеры-частники собирают лишь экзотических животных, университетские и школьные музеи — специальные подборки экспонатов для учебного процесса, краеведческие музеи — с узко региональным уклоном. Кроме того, все эти собрания страдают отсутствием должного

контроля за точной идентификацией видов со стороны специалистов. Универсальных музеев, где собираются все представители животного мира, со всех мест, где каждый вид представлен большой серией экземпляров, снабженных этикетками с указанием времени, места сбора, фамилии сборщика, этикеткой с точным названием вида и специалиста, сделавшего определение и т.п., где каждый раздел коллекции курирует дипломированный специалист-профессионал, очень немного. В России их единицы, среди них наш зоологический музей — старейшее подразделение зоологического профиля, созданное в 1944 г., и единственная лаборатория, сохранившая неизменным свой профиль в течение всех 63 лет своей истории — музейное дело, систематика животных и зоогеография.

Наша зоологическая коллекция третья по полноте и значению в России — в ней 1,5 млн единиц хранения: 35 тыс. видов животных, обитающих в Сибири и ее окрестностях. Наиболее крупные и полные разделы: насекомые (жесткокрылые — 8 тыс. видов, чешуекрылые — 6 тыс., двукрылые — 4 тыс.), клещи — 600 видов, пауки — 1500, млекопитающие — 290, птицы — 550. Более подробную информацию можно найти на ин-



Чучело росوماхи — очень скрытного и редкого таежного зверя.

тернет-сайте с полным каталогом музейных коллекций (<http://szmn.eco.nsc.ru/russian.html>). Сайт включает в себя общую информацию о музее как подразделении института (в том числе историю музея), информацию обо всех сотрудниках и их интересах (включая Curriculum vitae), и, самое основное и новое в мировой практике, — полные каталоги науч-

ных коллекций музея, связанные с ними гиперссылками, фотографии наиболее интересных в научном отношении экспонатов музея, а также для многих видов — фотографии этих животных в природных условиях. Также на сайте есть отдельная «Галерея оригинальных фотографий животных в природе» и раздел, посвященный экспозиции музея. ■

Литература

1. Юдин Б.С. Насекомоядные млекопитающие Сибири. Новосибирск, 1989.
2. Литвинов Ю.Н. Сообщества и популяции млекопитающих в экосистемах Сибири. Новосибирск, 2001.
3. Собанский Г.Г. Звери Алтая. Барнаул, 2005.
4. Швецов Ю.Г. Мелкие млекопитающие Байкальской котловины. Новосибирск, 1977.
5. Вартапетов Л.Г. Птицы северотаежных междуречий. Новосибирск, 1984.
6. Жуков В.С. Птицы лесостепи Средней Сибири. Новосибирск, 2006.
7. Цыбулин С.М. Птицы Северного Алтая. Новосибирск, 1999.
8. Юдкин В.А. Птицы подтаежных лесов Западной Сибири. Новосибирск, 2002.
9. Равкин Е.С., Равкин Ю.С. Птицы равнин Северной Евразии. Новосибирск, 2005.
10. Биоразнообразие: степень таксономической изученности. М., 1994. С.65—69.
11. Мордкович В.Г., Баркалов А.В., Василенко С.В. и др. // Евразийский энтомологический журнал. 2002. Т.1. №1. С.3—10.
12. Дубатолов В.В. Чешуекрылые подсемейства Arctinae (Lepidoptera, Arctioidea) Палеоарктики. Автореферат дис. док. биол. наук. Новосибирск, 2007.
13. Мордкович В.Г. // Евразийский энтомологический журнал. 2007. Т.6. №2. С.123—128.
14. Barkalov A.V., Chen Xin-yue // Contribution on Entomology, International. 2004. V.5. №4. P.267—421.
15. Легалов А.А. // Известия РАН. Серия биологическая. 2005. №2. С.165—172.

Трудолюбивая стрекоза

Стрекозы (отряд, которому они принадлежат, называется Odonata — зубастые) очень приметны среди других насекомых крупными размерами, стремительностью полета, изысканностью форм. Невольно залюбуешься той легкостью и грацией, с которыми они выписывают фигуры высшего пилотажа над водной гладью или цветущим лугом. В народе к стрекозе приклеился ярлык создания беззаботного, попрыгуньи, а на самом деле она не уступает муравью трудолюбием. Муравья проще, у них разделение труда, а ей одной успевать приходится — и кров найти в непогоду, и потомство оставить, и, главное, прокорм добыть. А хлеб у хищников, как известно, нелегкий, тем более со стрекозным аппетитом. Обмен веществ быстрый, энергозатраты велики, за день надо наловить комаров и мошек да другой мелочи примерно столько, сколько сама весит. Потому и мечется она день-деньской.

Сотрудники нашей лаборатории выяснили, что в Барабинской лесостепи, на юге Западной Сибири, при многочисленности стрекоз в этом озерном краю трудяги-хищники могут за сезон изымать из биоценоза до 300 кг (в живом весе) мелких насекомых с каждого гектара. Поначалу поверить трудно — это же по целому быку! Насекомые не могут давать такой зоомассы даже в высокопродуктивных тропических экосистемах. Однако здесь скажется экотонный (пограничный) эффект: в прибрежной полосе водоемов (а таких в Барабе десятки тысяч квадратных километров) необычно высоки плотности популяций амфибионтных (приспособленных к обитанию в воде и на суше) насекомых как стрекоз — хищников, так и двукрылых — их жертв. Рацион стрекоз со-

стоит в основном из комаров-звонцов (хируномид) и других некровососущих двукрылых, однако и на долю комаров-кулицид и иных кровососов приходится до 20%, что в пересчете на штуки дает астрономическую величину. Так что нет в Барабе у человека лучшего друга, чем стрекоза. Не эти бы славные «бабки», как называли стрекоз в давние времена, жить бы здесь было невмоготу, заели бы кровососы.

Человек за это платит стрекозе по-своему: испокон веков создает для своих нужд или даже ненароком искусственные водоемы — как раз то, что нужно стрекозам, чтобы из отложенных яиц развились няяды (личинки), тоже хищные создания. Самые благоприятные в умеренных широтах водоемы — пруды на ручейках и малых реках. Тихая вода в сочетании с проточностью, оптимизирующей кислородный режим, создает воистину райский уголок для многих гидро- и амфибионтных организмов, среди которых стрекозы в первых рядах. В аридных регионах разветвленные системы оросительных каналов привели к существенному изменению границ ареалов целых стрекозных фаун и поселению некоторых их видов за сотни, а то и тысячи километров от изначальных «мест проживания». Наиболее наглядно это проявилось в полупустынях и пустынях Передней и Средней Азии.

Наши исследования в 1990-х годах на Северном Кавказе выявили существенные отличия в составе и структуре местной фауны стрекоз (одонатофауны) по сравнению с той, что была подробно изучена в начале века знаменитым одонатологом А.Н.Бартеневым. В частности, здесь появилось много новых южных видов и фауна, прежде выглядевшая вполне бореальной, при-

обрела скорее южный средиземноморский облик. Что это: результат потепления климата? Вряд ли, климат явно не изменился столь заметно. Скорее всего причина в другом. Гражданское, промышленное и дорожное строительство на Северном Кавказе в течение XX в. привело к созданию большого количества карьеров, придорожных канав и других антропогенных водоемов. Свято место пусто не бывает, и в колонизации новых водоемов более остальных преуспели южные виды стрекоз, которые ранее не находили в этой гористой местности подходящих для развития личинок прогреваемых мелководий и потому не могли ее освоить, несмотря на вполне подходящий климат.

Аналогичные процессы мы с коллегами наблюдали на Южном Урале. Там наиболее богаты и разнообразны стрекозами многочисленные пруды, в том числе промышленного назначения. Удивительно, что иногда даже в термально- и химически загрязненных прудах-отстойниках поселяются необычные для этих широт виды. Так, на очистных коллекторах водоснабжения Магнитогорска обнаружена единственная на Урале популяция южной красноглазки зеленоватой (*Erythromma viridulum*). А излюбленным местообитанием не встречавшейся ранее на восточном макросклоне Урала коромысла синего (*Aeshna cyanea*) стали придорожные канавы и карьеры. Немало подобных примеров и на территории Сибири.

Вот и выходит, что, хотя и ненамеренно, человек упрочил жизненные позиции стрекозы, снабдил «добротными домами» — искусственными водоемами.

© Попова О.Н.,

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории экологии насекомых

Мониторинг животного мира

Ю.С.Равкин

Любой мониторинг, в том числе и животного мира, включает как минимум три компонента: слежение за состоянием объекта, оценку этого состояния и прогноз его изменений в будущем. При этом обычно предполагается, что слежение должно повторяться через строго определенное время в местах, отражающих изменчивость исследуемого объекта в пространстве.

Животный мир, представленный миллионами видов, весьма неоднороден в разных местообитаниях. Кроме того, численность животных изменчива по сезонам в связи с миграциями, размножением и гибелью, особенно молодых особей, а иногда, наоборот, всех размножающихся экземпляров; колеблется она и по годам, причем иногда с неправильной цикличностью. Поэтому надеяться, что удастся пересчитать всех животных, как баранов в стаде «по головам», не приходится, и надо искать какой-то «обходной» способ для сокращения временных и материальных затрат на проведение мониторинга. Положение еще более усложняется тем, что слежение во времени обычно рекомендуется проводить на заповедных территориях, поскольку именно там можно гарантировать долговременность мониторинга в местах, не подверженных вырубкам, распашке и застройке. С одной стороны, это вроде бы и правильно, так как в этом случае сохраняется преемственность оценок, хотя и в рамках естественных сукцес-



Юрий Соломонович Равкин, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией зоологического мониторинга. Разработал методiku географического мониторинга наземных позвоночных, а также систему статистического прогноза изменений животного населения во времени и пространстве.

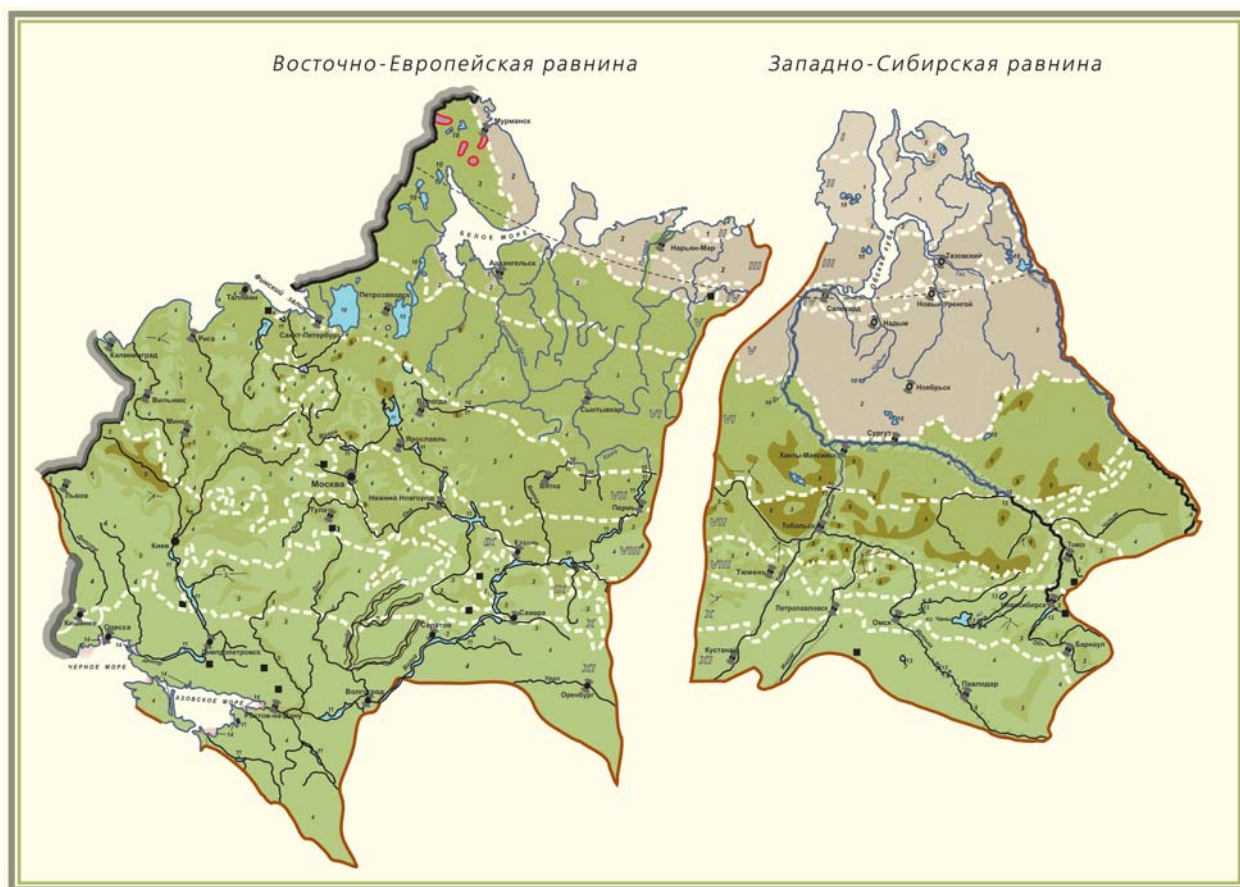
сий — старения древостоев, выпадения и замены их. С другой стороны, наблюдать за охраняемыми территориями — все равно что следить за наводнением с вершины горы в безлунную ночь: такую точку зальет в последнюю очередь, когда спасти кого-либо будет уже поздно. На больших площадях вокруг заповедника можно все вырубать, распашать и застроить, а численность животных внутри заповедника не изменится и может даже возрасти из-за дефицита пригодных площадей за его пределами.

Следить всегда, везде и за всем — слишком дорогое удовольствие, и надо как-то сократить затраты и вместе с тем сохранить надежность методов наблюдения для решения поставленных задач. Одним из таких способов и служит географический подход, который сводится к оценке состояния сообществ и популяций в основных ландшафтах, включая и антропогенные биоценозы. Одновременно необходимы наблюдения

за изменением растительности во времени с учетом занимаемых ею площадей. На основе получаемой с помощью космических снимков информации об изменениях в соотношении площадей можно рассчитать среднюю убыль или прирост животного населения. Расчет таких изменений прост: каждый раз рассчитывают сумму произведений средней по исследуемым территориям численности животных на занимаемые ими площади. Уменьшение этого значения служит основанием для беспокойства и, в крайних случаях, требует мер, компенсирующих потери. В случае возрастания численности охотничьих видов можно рекомендовать увеличение их добычи, а если появляется множество вредителей, необходимы превентивные меры, пока не разразилась катастрофа.

На основе собранных данных составлена серия карт, которые могут служить основой для дальнейшего мониторинга животного мира. Так, на карте

© Равкин Ю.С., 2007



Неоднородность населения птиц в первой половине лета на равнинах Северной Евразии. Показаны различные типы: светло-серым цветом — тундровый; темно-серым — лесотундровый; темно-зеленым — лесной; светло-зеленым — лугово-степной; болотным — верхово-болотный; внемасштабными знаками — остальные типы. В тундровом типе по средним показателям обилия лидируют кулик-воробей, лапландский подорожник, круглоносый плавунчик (в среднем плотность населения — 317 особей/км², количество нередких видов — 28; далее эти показатели приводятся в том же порядке, но без наименования); в лесотундровом — овсянка-крошка, желтая трясогузка, чечетка (445/58); в лесном — зяблик, лесной конек и пухляк (673/88); в лугово-степном — полевой жаворонок, желтая трясогузка, дубровник (570/79); в верхово-болотном белошапочная овсянка, встречающаяся только в Западной Сибири, лесной конек и дубровник (231/32). Первые два типа образуют северную надтиповую группировку, а три последующих — срединную. Пунктиром показаны границы зон и подзон: тундр — арктических (I), северных субарктических (II), южных субарктических (III); лесотундровых редколесий (IV); тайги — северной (V), средней (VI), южной (VII); лесов — подтаежных (VIII), широколиственных (IX); лесостепи (X) и степи (XI).

населения птиц Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин отчетливо видно проникновение лугово-степного типа сообществ по распаханым участкам в европейской части вплоть до средней тайги, а в Западно-Сибирской — только до южной. Южная граница лесотундрового типа населения в Западной Сибири примыкает к средней тайге, а в Европе занимает большую часть северной тайги. Продвижение к югу

лесотундровых птиц связано с высокой континентальностью климата Западной Сибири и разреженностью северотаежных лесов.

Кроме того, созданы карты населения земноводных, пресмыкающихся, мелких млекопитающих и охотничьих видов птиц, обитающих на территории Западно-Сибирской равнины, а по Алтайской горной области — карты летнего и зимнего населения птиц. Для земно-

водных выделены территории с самыми плохими (экстремальными), плохими (пессимальными), почти плохими (субпессимальными) и почти оптимальными (субоптимальными) условиями существования для всех видов, а также благоприятные местообитания для зеленой жабы и обыкновенной чесночницы; серой жабы и сибирского углозуба, остромордой и сибирской лягушек и отдельно — озерной лягушки. В целом



Неоднородность населения земноводных Западно-Сибирской равнины.

в распределении земноводных хорошо прослеживается зональность, но ее границы не совпадают с границами геоботанических зон, хотя причины широтной зональности и в растительности, и в сообществах земноводных связаны в основном с соотношением тепла и влаги. Однако для земноводных и других классов животных реакция на изменения среды специфична.

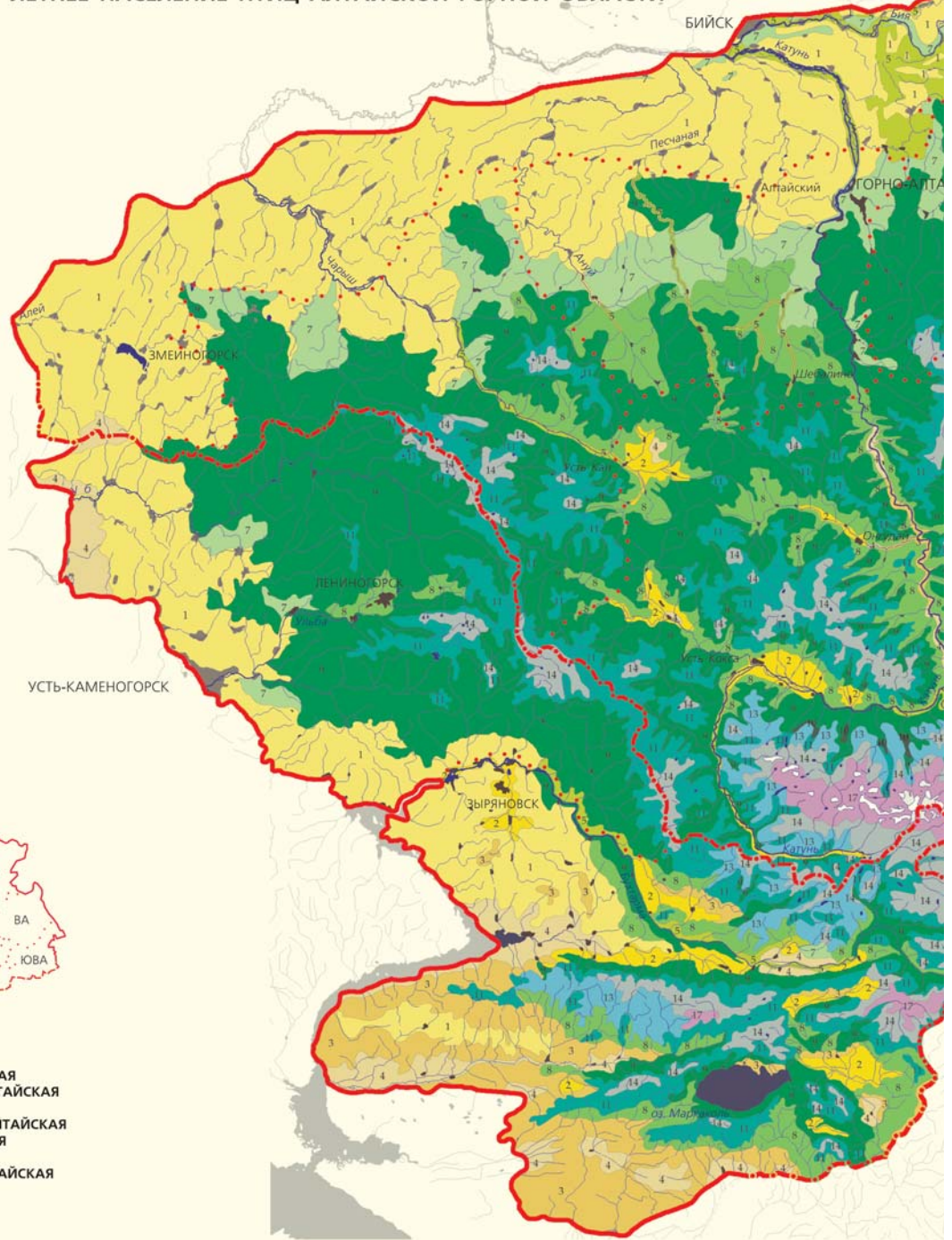
Алтайскую горную область обычно делят на северную, северо-восточную, центральную, юго-восточную и южную провинции. Согласно анализу учетов населения птиц, информативнее делить ее на степные, лесные, альпийско-тундровые и субнивальные сообщества. Зависимость от провинциальной специфики значительно меньше, чем от типа растительности.

Сведения о численности животных можно использовать для прогноза изменений животного населения при различных сценариях хозяйственного использования угодий: например, при вырубке лесов, лесовосстановительных работах или лесовозобновлении, распашке, застройке, затоплении той или иной территории. Тогда на основе данных о численности животных при исходном состоянии растительности и аналогичных показателей в случае трансформации ландшафта можно по их разности судить о количестве животных после хозяйственного вмешательства.

Влияние человека на животный мир нередко приводит к преобразованиям, нарушающим основные закономерности в животном населении. Давно известно, что численность жи-

вотных, в частности птиц, и их видовое богатство уменьшаются от экватора к полюсам. В Северном полушарии эти показатели монотонно снижаются от естественных степных ландшафтов или широколиственных лесов к северу, через хвойно-широколиственные леса к хвойным и далее к лесотундре и тундровой зоне. На Западно-Сибирской равнине эта закономерность несколько нарушена в сильно распаханной степной зоне, а также в северной тайге и редколесьях, где приземный слой сильнее прогревается. Разреженность лесов определяется вечной мерзлотой и высокой заболоченностью в связи с континентальностью климата и выровненностью рельефа. В Восточной Европе из-за влияния теплого Восточно-Европейского морского течения в северота-

ЛЕТНЕЕ НАСЕЛЕНИЕ ПТИЦ АЛТАЙСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

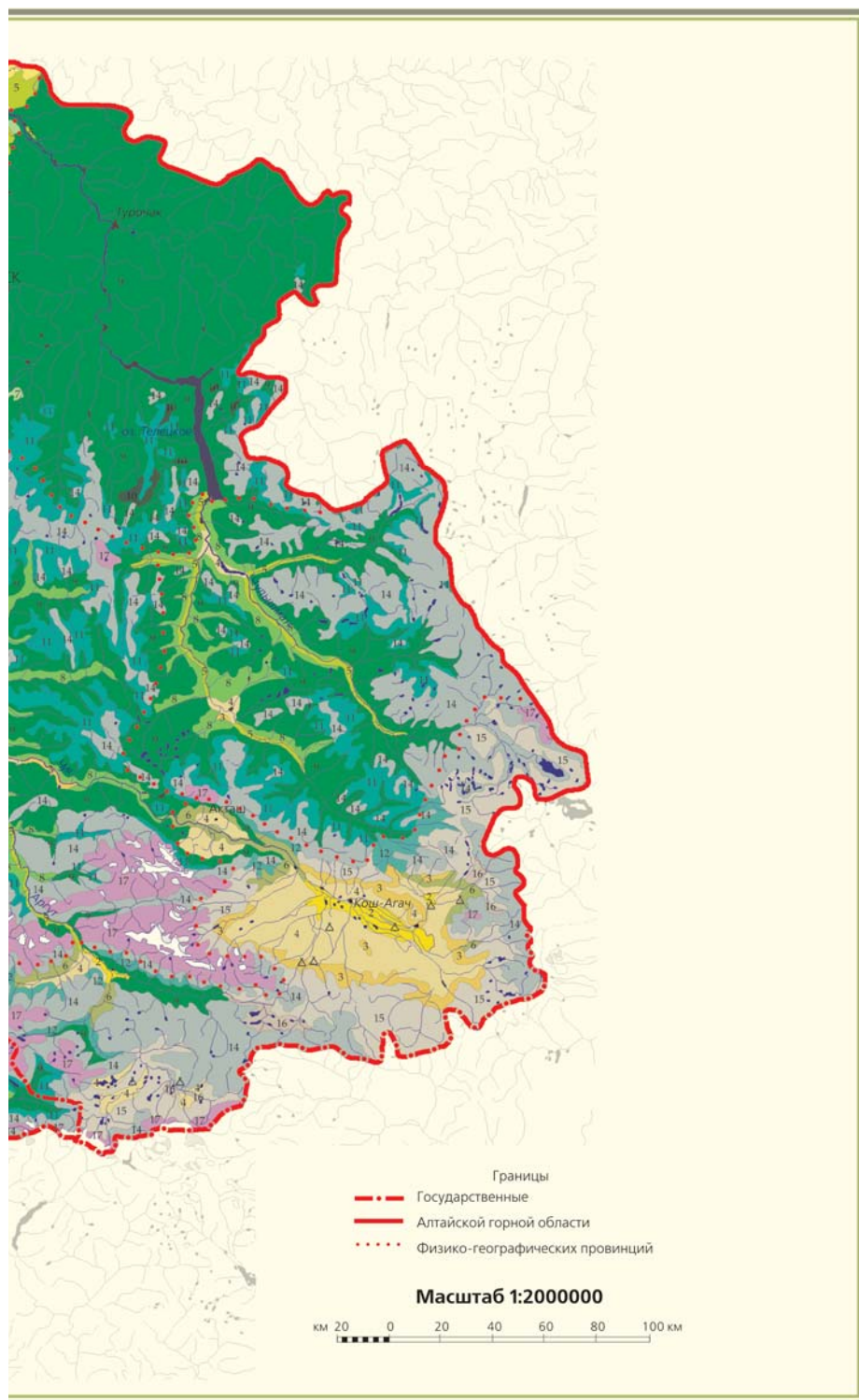


ежных лесах продуктивность повышена, и птиц там в северных подзонах, как правило, больше, чем в западно-сибирских. Однако естественная закономерность уменьшения численности птиц в Европе сильно

нарушена: от средней тайги вплоть до степей их становится меньше, что связано с возрастающей распаханностью территории к югу.

Те же данные и алгоритмы расчета можно использовать

для прогноза предполагаемого ущерба животному миру при проектировании крупных хозяйственных объектов. Тогда потери в зоне антропогенного воздействия в вещественном выражении (т.е. число погиб-

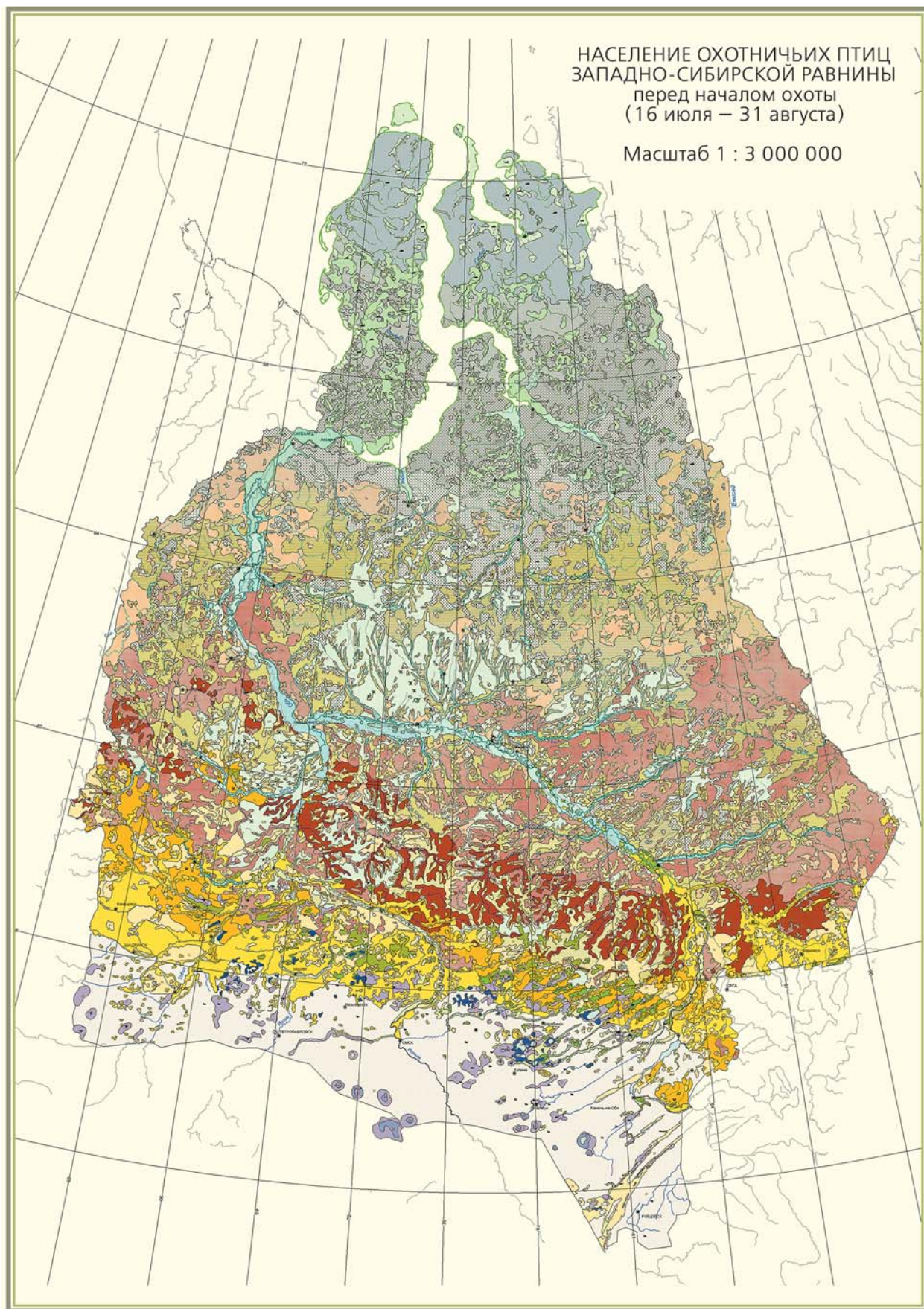


Дифференциация летнего населения птиц Алтайской горной области. Выделено семь типов: степной (на карте желтая цветовая гамма): по обилию лидируют каменка-плясунья, рогатый и полевой жаворонки (в среднем плотность населения — 287 особей/км², нередких видов — 45; далее эти показатели приводятся в том же порядке, но без наименования); лесной (зеленые тона): пухляк, теньковка и зеленая пеночка (491/62); субальпийско-луговой (голубой): садовая камышевка, чечевица и серая славка (444/13); альпийско-тундровый (серый с голубым и коричневым оттенками): горный конек, варакушка и каменка (193/28); субнивальный (фиолетовый): гималайская завирушка, горный конек и гималайский вьюрок (37/10); синантропный (темно-коричневый): домовый и полевой воробьи, сизый голубь (1193/41); озерно-речной (синий): горная трясогузка, перевозчик, береговая ласточка (524/24).

ших или потерявших свои местообитания животных) умножаются на их рыночную стоимость или таксу возмещения ущерба при незаконном уничтожении или потерях без использования.

Так, рассчитано, что предполагаемое строительство Алтайской (Катунской) ГЭС по варианту третьей очереди проекта приведет к тому, что в результате затопления за 1–3 года погибнет 34 тыс. птиц, 421 тыс.

мелких млекопитающих, 3 тыс. пищух и сусликов, около тысячи охотничьих животных, около 300 особей земноводных и 21 тыс. пресмыкающихся, т.е. около полумиллиона особей позвоночных животных. Хо-



Охотничьи птицы перед началом летне-осеннего сезона охоты. Среди субарктического населения суши выделены: тундрово-кустарниковый тип (серые цвета) — здесь и далее лидируют белая куропатка, средний кроншнеп, золотистая ржанка, шилохвость, чирок-свиистунок (суммарная биомасса до 36 кг/км²); полигонально-тундровый (голубые оттенки серого цвета) — белая куропатка, бурокрылая ржанка, морянка, синьга, шилохвость (до 45 кг/км²). Среди водно-околоводных птиц (оттенки зеленого, голубого и синего цветов; чем выше разнообразие и биомасса, тем интенсивнее цвет) преобладают бекас, чирок-свиистунок, свиязь почти повсеместно, кроме того, шилохвость, морянка, морская чернеть на севере, крякva, чирок-трескунок, лысуха на юге (до 964 кг/км²). На территориях умеренного пояса различают: лугово-степной тип (фиолетовый и светло-лиловый цвета) — перепел, бекас, чибис, большой веретенник (до 25 кг/км²); лесополевой тип (желтая гамма цветов) — клинтух, большая горлица, тетерев, перепел, бекас (до 14 кг/км²); таежный тип (коричневая гамма цветов) — рябчик и большая горлица (до 25 кг/км²); сосново-борового типа (оливковые штриховки) — глухарь (до 9 кг/км²).

хозяйственный ущерб по наземным позвоночным в ценах 2005 г. составит в зоне затопления и строительства ГЭС 126.8 млн руб., а биосферный (с учетом беспозвоночных) — 73.2 млн руб.

В случае эксплуатации Алтайской ГЭС в пойме Верхней Оби численность птиц сократится на 100 тыс. особей, земноводных — на 1 млн 200 тыс. особей, а у млекопитающих она останется почти прежней. В результате хозяйственный ущерб составит 63.4 млн руб., биосферный (наземный и почвенный животный) — 146.3 млн руб., а общий ущерб от строительства и эксплуатации Алтайской ГЭС — 409.7 млн руб.

Наша лаборатория в 60-х и 90-х годах XX в. (с интервалом около 20 лет) провела учеты птиц в южной тайге Прииртышья и Приобья. Подсчитано, что в первую половину лета численность птиц достоверно сократилась в целом на 24%, на внепойменных незаболоченных территориях — на 25%, в поймах крупных рек — на 37% и на внепойменных болотах — на 40%. В населенных пунктах и на водоемах отличия численности статистически недостоверны. При этом антропогенная трансформация ландшафтов незначительна, всего 3% по облесенности. В 90-е годы учеты пришлись на сухие годы, в результате чего, видимо, снизилась численность беспозвоночных, которые служат кормом для птиц, и соответственно сократилось обилие последних. Так что

в случае потепления климата и уменьшения влажности в южной тайге Западной Сибири следует ожидать снижения численности птиц.

Такой же мониторинг проведен в Северо-Восточном Алтае в начале 60-х годов 20-го столетия и в начале 21-го, т.е. почти через 40 лет. Оказалось, что в целом на территории разреза от предгорной лесостепи через низко- и среднегорные леса к предтундровым редколесьям и высокогорным тундрам плотность населения птиц осталась прежней, хотя по одним видам она сократилась, а по другим — увеличилась. Отмечено также, что в сухие годы в низкогорье общая численность птиц уменьшается, а в более прохладном и влажном среднегорье — увеличивается. За счет таких перекочевок в провинции в разные годы поддерживается общая стабильная численность птиц.

В окрестностях Новосибирского научного центра наблюдения за птицами ведутся с 1963 г. почти без перерывов. На фоне обычных годовых колебаний численности прослеживаются три этапа изменений. Первый из них, в 60–70-х годах, был связан с химической обработкой лесов, уничтожившей клещей — переносчиков энцефалита, в результате чего пригородные леса стали активнее использоваться для отдыха. Это повлекло за собой уменьшение численности наземногнездящихся птиц и увеличение количества врановых — сорок и се-

рых ворон. В начале 80-х годов после восстановления численности иксодовых клещей выросла заболеваемость населения и, соответственно, активность санитарного просвещения населения, поэтому резко уменьшилось количество людей, посещающих пригородные леса в первой половине лета, когда клещи наиболее активны, а у птиц идет гнездование. В итоге численность наземногнездящихся птиц в общем восстановилась, но количество врановых из-за близости Академгородка и городских свалок не уменьшилось. Последнее, третье, изменение численности птиц произошло в первые постсоветские годы, когда жизненный уровень населения существенно снизился, люди прекратили подкармливать птиц и количество выбрасываемых пищевых отходов резко сократилось. В результате значительно меньше стало сизых голубей, полевых и домовых воробьев, которые кормились в основном выбрасываемым хлебом и высыпавшимися для них крупами. Из-за дороговизны горюче-смазочных материалов и роста цен за вывоз бытовых отходов свалки перенесли ближе к городу, и количество синантропных видов птиц на них выросло.

Таким образом, слежение за состоянием животного мира позволяет определить его изменения как во времени, так и в пространстве, если интерпретировать ряды территориальных отличий животного населения как временные. ■

Алтай — источник новых видов насекомых

В горной части Алтая необычайно разнообразна и богата фауна насекомых. Бабочки, жуки, мухи и перепончатокрылые поддерживают там существование разнообразных биотопов, а благодаря высотной поясности в горах само биоразнообразие приобретает зональный характер. За один день при желании можно добраться от полупустыни до Чуйской степи, через тайгу среднегорий попасть в высокогорную тундру и везде встретить многочисленные виды насекомых. Даже в кажущихся безжизненными песках и каменистых россыпях насекомые, пауки, клещи и др. приспособились к недостатку влаги и тепла.

Уже много лет сотрудники нашего института изучают насекомых горного Алтая и в ходе экспедиций нередко открывают новые виды в труднодоступных местах. Высокогорные тундры и расположенные еще выше гольцы оказались наиболее богатыми эндемичными видами (т.е. обитающими только на Алтае), несмотря на экстремальные условия. И именно с таких вершин ежегодно описываются неизвестные ранее науке виды и даже роды насекомых. Удивительно, что среди них есть виды, обитающие в горах, расположенных на многие сотни и тысячи километров от Алтая — в Альпах, Карпатах, на Кавказе. Только на вершинах гор и в высокогорных тундрах встречаются насекомые тех же видов или родственно близких им, которые обитают

в Средней Азии. Совсем недавно на горах, окаймляющих высокогорное плато Укок, был обнаружен новый для науки вид, очень похожий на редчайший, известный в мире всего по двум экземплярам, вид мухи-журчалки. Примечательно, что даже род, к которому принадлежит новый вид, обнаружен на территории России впервые. Ежегодно, после тяжелых летних экспедиций, наши сотрудники, изучая в лабораториях полученный материал, обнаруживают все новые и новые интересные находки, и количество видов, требующих описаний, увеличивается и, по всей видимости, будет увеличиваться еще долго.

© Баркалов А.В.,

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Зоомузея

Завоевания ротана

Ротан, или головешка (*Percottus glehni*), — типичный обитатель небольших прудов, стариц и озер Дальнего Востока. Эта рыба относится к тем немногим видам, которые способны переживать повышение температуры воды до 30°C и более и даже пересыхание водоема, погружаясь в иловые отложения.

Важная особенность ротана — необычайно широкий спектр питания, хотя у подавляющего большинства рыб так или иначе выражена пищевая специализация. Результаты анализа содержимого пищевого комка ротана свидетельствуют, что в разные сезоны года он может переключаться с одного вида корма на другой. Например, после выедания бентоса начинает питаться личинками насекомых, обитающих в зарослях высших водных растений, моллюсками, а затем — и самими растениями. Если плотность рыб в водоеме доста-

точно высока, ротан активно хищничает, иногда поедает молодь своего же вида. Такая «всеядность» определяется многими физиологическими адаптациями, в частности — своеобразной системой активности пищеварительных ферментов. Весной ротан выедает икру фитильных рыб и может подрывать численность многих природных популяций.

Не более 40 лет понадобилось ротану, чтобы границы его ареала расширились от Дальнего Востока до Западной Европы. Причинами могли быть рыболовные мероприятия, а также преднамеренный выпуск рыбаками-любителями и аквариумистами в естественные водотоки. Этого вида не было только на юге Западной Сибири, но в 1980-х годах он был обнаружен в непроточных водоемах-охладителях (тепловых электростанций и «спутников» других предприятий, технологические процессы которых связаны с системой охлажде-

ния оборудования) Обь-Иртышского междуречья. В последнее десятилетие вид-вселенец стал регистрироваться в многочисленных заморных озерах степной, лесостепной и лесной зон региона. Ранее в этих водоемах водились только караси и гольяны, способные выдерживать жесткие зимние условия. В настоящее время ротан стал успешно конкурировать с местными видами. В зимний период он выдерживает низкие температуры воды, вплоть до отрицательных, и даже промерзание водоема.

Таким образом, физиологические возможности позволили ротану в короткий срок приспособиться и к холодам Западной Сибири. В результате разорванный ранее ареал сейчас протянулся по всей бореальной области Евразии.

© Е.Н.Ядрёнкина,

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории
паразитологии и ихтиологии

Маленькие труженики большой науки

Ж.И.Резникова

Герои «Кибериады», произведения знаменитого фантаста С.Лема, неустанно исследуя процессы мироздания, создавали одну за другой крошечные цивилизации и наблюдали под микроскопом их расцветы и крушения, меняя условия развития. Но никакая фантастическая модель не заменит настоящей, непредсказуемой и загадочной, «цивилизации» на лабораторном столе, которую можно изучать, задавая все более сложные вопросы и получая все более интригующие ответы, если только вы овладели искусством общения с муравьями. Эти маленькие шестиногие создания, покрытые хитиновым панцирем и смотрящие на мир фасеточными глазами, сталкиваются в своей жизни с множеством проблем, общих для всех высокосоциальных видов, включая и наш собственный. Проблемы взаимопонимания и координации совместной деятельности требуют надежных систем коммуникации, обработки информации и разделения труда между членами сообщества. Муравьи решают и экологические проблемы. Они делят территорию и пищевые ресурсы с разными животными и вынуждены отвечать на непростые вопросы — как выгодно использовать одних и как с наименьшими усилиями избавиться от других. Полевые и лабораторные эксперименты помогают узнать, каким образом наши соседи по планете справляются со всем этим и в результате более точно представить себе, как функционируют сообщества животных на разных уровнях — от



Жанна Ильинична Резникова, доктор биологических наук, профессор, заведующая тематической группой этологических основ интеграции сообществ животных, а также заведующая кафедрой сравнительной психологии Новосибирского государственного университета. Специалист в области экспериментальной этологии и экологии.

семейных и популяционных до межвидовых. А проникая в тайны интеллекта и общения муравьев, исследователь может открыть закономерности, помогающие самопознанию человека и прояснению его места в природе. Результаты, полученные нашей тематической группой при изучении коммуникации и координации деятельности муравьев, представляют интерес не только для биологии, но и социологии, лингвистики и робототехники.

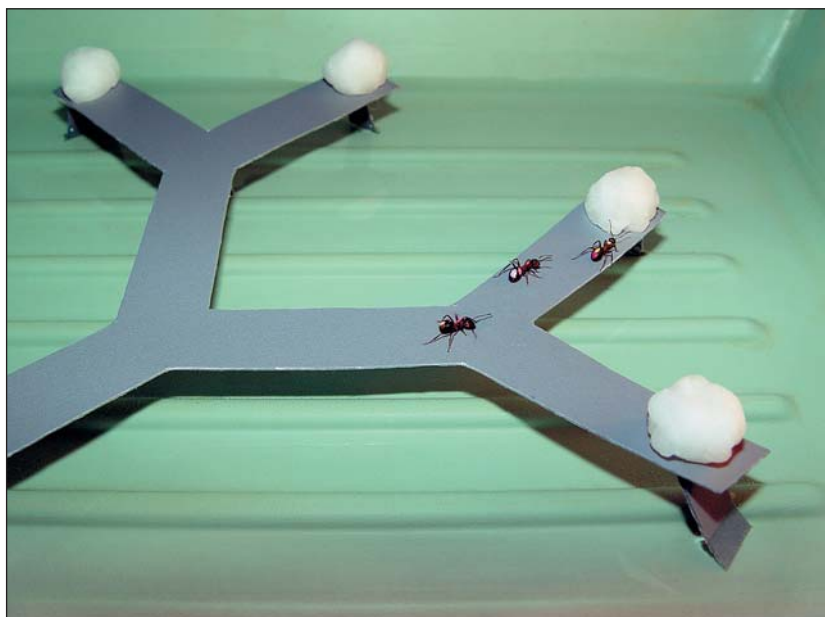
Интеллект муравьев — на службу науке

На обложке книги «Animal Intelligence: From Individual to Social Cognition»* группа муравьев движется по лабиринту «бинарное дерево». Это иллюстрация нашего эксперимента, позволившего описать символический «язык» муравьев, превосходящий по сложности изве-

стный «язык танцев» пчел**. Рыжие лесные муравьи стали первыми испытуемыми нового метода изучения языкового поведения животных. Этот метод, предложенный известным специалистом по теории информации и криптографии Б.Я.Рябко и разработанный в нашей лаборатории, теперь называется теоретико-информационным [1]. Он принципиально отличается от двух других ранее известных в этологии: прямой расшифровки сигналов животных (что громоздко и чаще всего практически неосуществимо) и применения искусственных языков-посредников, позволяющих нам общаться с представителями ограниченного количества видов (антропоидами, дельфинами, попугаями), способных овладеть языком, предложенным экспериментаторами. Суть теоретико-информационного подхода в том, что система коммуникации животных исследуется

* Эта книга, написанная автором статьи, опубликована в Кембридже (2007). — *Примеч. ред.*

** Это открытие в газете «The Independent on Sunday» названо одним из самых значительных результатов в биологии второй половины XX в. — *Примеч. ред.*



Группа муравьев в лабиринте «бинарное дерево».

Фото И.К.Яковлева

как средство передачи информации — конкретной, количественно измеримой величины. В экспериментах создается ситуация, когда животные вынуждены передать друг другу заранее известное экспериментатору количество информации. При этом измеряется время, затраченное на ее передачу, т.е. оценивается скорость передачи информации [2, 3].

В течение многих лет мы исследовали свойства и потенциальные возможности коммуникативной системы муравьев на лабораторных аренах с помощью лабиринта «бинарное дерево». Лабиринты монтировались в кюветах с водой, из пластиковых планок, куда муравьи могли зайти по съёмному мостику. В простейшем случае «дерево» состояло из одной развилки, а на концах двух «листьев» находились кормушки: одна пустая, другая с сиропом. Чтобы найти ее, муравьи должны были сообщить друг другу сведения «иди налево» или «иди направо», т.е. 1 бит информации. В опытах количество развилки менялось, доходя до шести. На таких разветвленных лабиринтах мура-

вьи могли быстро отыскать корм, только если получали от разведчика сведения о последовательности поворотов типа «ЛПЛППЛ» (Лево, Право и т.д.). При шести развилках разведчикам необходимо было передать шесть битов информации, и в этом случае минимальное число сообщений в «языке» муравьев равнялось количеству конечных «листьев», т.е. $2^6 = 64$.

В экспериментах муравьев метили индивидуальными цветными метками и наблюдали в прозрачных лабораторных гнездах. Оказалось, что при решении сложных задач среди муравьев выделяются постоянные по составу рабочие группы, состоящие из одного разведчика и 4–7 фуражиров. Каждый разведчик, найдя пищу, вступает в контакт только со своей группой. Когда разведчик возвращался к гнезду после удачного похода за сиропом, мы измеряли длительность его контактов с фуражирами, соответствующую времени передачи информации. В это время лабиринт заменяли «свежим», лишенным каких бы то ни было следов. Даже сироп уже не было, все кор-

мушки содержали воду. Так исключалось использование пахучей тропы, которую мог бы оставить муравей в лабиринте, а также самого запаха пищи. Фуражиры, пообщавшись с разведчиком, были вынуждены действовать самостоятельно: разведчика изымали пинцетом и временно отсаживали. Важно заметить, что муравьи были чрезвычайно заинтересованы в решении предложенной задачи: они получали пищу раз в два дня, и только в лабиринте.

Как уже сказано, в опытах с «бинарным деревом» количество информации (в битах), необходимое для выбора правильного пути в лабиринте, равно числу развилки. Оказалось, что у видов муравьев с групповой организацией фуражировки (высокосоциальных муравьиных «приматов») зависимость между временем контакта разведчика с фуражирами и количеством передаваемой информации близка к линейной. Зависимость эта описывается уравнением $t = ai + b$, где t — время контакта, a — коэффициент пропорциональности, равный времени, затрачиваемому на передачу одного бита информации, b — константа, введенная нами потому, что муравьи в принципе могут передавать дополнительную информацию, не имеющую прямого отношения к выбору пути, например сигнализировать «появился сироп». Полученная закономерность позволила узнать, что скорость передачи информации у муравьев по крайней мере в 10 раз ниже, чем у человека: около 1 бита в минуту. Однако и это немало, а возможности коммуникативной системы насекомых оказались, как будет видно, поистине впечатляющими.

Мы научились использовать механизмы коммуникации муравьев для изучения общих свойств интеллекта. Дело в том, что в современной когнитивной этологии накопилось множество сведений, позволяющих предположить, что разные виды

животных могут проявлять признаки очень высоко развитых познавательных способностей в пределах довольно узких областей. Такие области «интеллектуального прорыва» нелегко бывает обнаружить. Например, сойки и белки способны запомнить расположение тысяч тайников, в которых они спрятали пищу, но это еще не значит, что они смогут, скажем, найти выход из сложного лабиринта успешнее, чем это сделает крыса. А вот крыса далеко превзойдет в этом искусстве человека, зато ей не дано индивидуально распознать и запомнить сотни своих сородичей так, как это делают приматы (в том числе люди) и слоны. Новокаледонские галки оказались, как недавно выяснилось, «гениями» орудийной деятельности: в способностях быстро преобразовывать разные предметы и использовать их для решения сложных пространственных задач эти птицы превосходят столь признанных наукой умельцев, как шимпанзе. Теперь, после четвертьвековых исследований, у нас есть веские основания полагать, что некоторые виды муравьев — «гении общения»: они могут решать сложнейшие, доступные немногим видам животных задачи, но только в тех ситуациях, когда надо запомнить и эффективно передать сородичам информацию о богатом источнике пищи. В других обстоятельствах у насекомых весьма скромные интеллектуальные показатели. Однако и этого мостика, который удалось перекинуть в неведомую доселе область когнитивной деятельности существ, столь непохожих на нас, оказалось достаточно, чтобы обнаружить проявления общих закономерностей и предложить методы, которые, можно надеяться, послужат для изучения интеллекта разных видов социальных животных.

Применив лабиринт «бинарное дерево», мы исследовали одну из важнейших характеристик языка и интеллекта его носите-

лей, а именно способность быстро подмечать закономерности и использовать их для кодирования, сжатия, информации. При сжатии размер сообщения о некотором объекте или явлении должен быть тем меньше, чем он проще, т.е. чем легче в них обнаружить закономерности. Например, человеку легче запомнить и передать последовательность поворотов на пути к цели «ЛП-ЛП-ЛП-ЛП-ЛП-ЛП-ЛП» (Лево, Право, и так семь раз), чем более короткую, но неупорядоченную последовательность «ПЛЛПППЛП». В опытах выяснилось, что «язык» муравьев и их интеллект позволяют им использовать простые закономерности «текста» для его сжатия (здесь «текст» — последовательность поворотов на пути к кормушке). Так, муравьи затрачивали в несколько раз меньше времени на передачу сообщения ЛЛЛЛЛ («пять раз налево»), чем на передачу сведений о случайной последовательности той же длины [4].

В серии опытов с другими установками мы выявили способность муравьев к счету и даже к простейшим арифметическим операциям. Муравьи опять-таки были поставлены перед необходимостью передать сородичам информацию о месте нахождения приманки, которая помещалась то в одной из точек по-разному искривленных координатных сетей, то на одной из десятков «веточек», отходящих от прямого, горизонтального или вертикального ствола. Система коммуникации муравьев оказалась настолько пластичной, что они могли вводить «особые обозначения» тех веток, на которых приманка по воле экспериментаторов оказывалась значительно чаще, чем на остальных. Описание этих опытов заняло бы слишком много места. Они опубликованы во многих российских и зарубежных журналах и вошли в учебники автора, изданные в отечественных издательствах и в Кембридже (см., например, [5, 6]).

Полученные результаты доказывают наличие у муравьев развитого языкового поведения и целого комплекса когнитивных способностей, которых ранее не могли и предполагать (способность улавливать закономерности, «сжимать» информацию, считать). Не исключено, что пластичность коммуникативных систем — один из основных критериев интеллекта животных и может быть использован для изучения разных видов.

Я б в разведчики пошел, пусть меня научат!

В экспериментах по изучению коммуникации муравьев выяснились не только фантастические возможности их «языка», но и обозначились существенные различия между членами семьи, выполняющими разные функции. Разведчики, эти представители своеобразной «интеллектуальной элиты» в семье, проворны, инициативны, легко запоминают путь к приманке и быстро переучиваются, если экспериментаторы его меняют. А самое главное — способны передать информацию своей группе фуражиров (заметим в скобках, что у медоносных пчел все устроено проще — разведчица «танцует» на сотах, не адресуясь к определенной составу аудитории). Фуражиры понимают и запоминают переданные им сведения, но ни один из них, поставленный на место разведчика, не может выполнить его ответственную работу. Такая «интеллектуальная пропасть» заставляет задуматься о роли индивидуума в социуме, и в частности о роли отдельной особи в семье общественных насекомых.

У многих видов муравьев (а всего их около 11 тыс.) выполняемые функции тесно связаны с морфологическими признаками каст (точнее, субкаст в пределах касты рабочих особей). У разных видов по-разному



Солдат и рабочий — пример морфологической кастовой изменчивости (Аризона, США).

© Фото Э.Уайлда



Муравей *Odontomachus bauri* (Коста Рика) ловит подвижную добычу, широко раздвигая жвалы-капканы.

© Фото Э.Уайлда

му выражена морфологическая кастовая изменчивость: специфическая форма челюстей, головы, существенные различия в размерах. Солдаты обычно крупнее других, с большой головой, острыми челюстями (жвалами), рабочие, вырезающие кусочки листьев, вооружены жвалами-ножницами, а охотники на подвижную добычу —

жвалами-капканами. Однако у многих видов разграничение функций между рабочими основано только на различиях в поведении. И то и другое, как правило, — проявления дискретной фенотипической изменчивости. Достаточно изменения в составе пищи или даже механических воздействий на муравьиную личинку, чтобы ее развитие пошло по тому или иному пути, и получилась бы скромная нянька или грозный солдат (не забудем только, что у общественных перепончатокрылых все рабочие — не размножающиеся самки). Помимо фенотипической изменчивости, может, конечно, проявляться и генетическая неоднородность семьи. У многих видов муравьев в гнезде размножается множество «цариц», а даже если «царица» одна, она может накапливать сперму от нескольких самцов.

Нас интересуют ситуации, когда члены семьи внешне похожи и различаются только по поведению. Как они выбирают профессию? Какую роль играют их поведенческие и когнитивные особенности, такие как уровень агрессивности, склонность проявлять инициативу или подражать другим, способность решать определенного типа задачи? Как рано начинается профессиональная специализация, и может ли муравей переучиться, поменять профессию?

Муравьиные профсоюзы. Этологические механизмы разделения труда у муравьев исследовались с середины прошлого столетия, но выяснено было немного. Причина неудач, возможно, заключалась в методологическом подходе: изучалось поведение «безличных» функциональных групп в семье (сборщиков пади тлей, охотников, охранников, нянек, строителей). Мы первыми обратились к исследованиям профессиональной специализации муравьев на индивидуальном уровне.

Мы начали с одной из самых многочисленных функциональ-

ных групп, сборщиков сладких выделений тлей. Падь составляет основу рациона многих видов, в частности рыжих лесных муравьев, которые собирают за лето десятки килограммов этой углеводной пищи, поставяемой услужливыми симбионтами. Симбиоз муравьев и тлей был описан еще в начале XX в., однако до сих пор снующие по стволам сборщики пади с просвечивающими на солнце раздутыми от сиропа брюшками представляются исследователям своеобразными «живыми вагончиками» с довольно простым и однообразным поведением. Но в наших экспериментах с муравьями удалось выявить у них систему профессиональной специализации. На многочисленных колониях тлей, принадлежащих каждой семье, работают постоянные по составу группы сборщиков, среди которых мы выделили несколько профессий. Это пастухи, собирающие падь; сторожа, охраняющие колонии тлей; транспортировщики, относящие падь в гнездо, и координаторы, занятые поиском новых колоний в таком сложном для муравья пространстве, как крона дерева. Координаторы, подстерегающие появление новой колонии тлей в кроне березы, чтобы сообщить об этом членам группы, по своим функциям соответствуют разведчикам, передающим информацию на бинарном дереве в лаборатории. Оказалось, что такие профессионалы могут при необходимости стать, например, пастухами или охранниками, тогда как представители этих менее сложных профессий переучиться не способны [7].

Профессиональная ориентация в семье муравьев связана с поведенческой и когнитивной специализацией особей. Последнюю можно представить как результат группировки особей со сходными способностями решать определенные задачи. Однако помимо выраженных склонностей к этому, может су-

ществовать и запрет на решение каких-то задач представителями некоторых профессий. Рассмотрим, например, такую задачу, как обучение избегать опасности. Встречаясь с врагом, муравей-разведчик, возможно, обязан сохранить свою жизнь для новых интеллектуальных подвигов, направленных на благо семьи. Но охранник не должен прятаться, скорее наоборот, от него требуется бросок вперед без всяких «рассуждений». В экспериментах для рыжих лесных муравьев одним из «образов врага» служат их конкуренты — хищные жужелицы, которых мы успешно заменяли моделями с характерными признаками. В естественных условиях охотники и еще более агрессивные охранники нападают на врагов, а мирные сборщики пади уходят от контактов с опасными объектами. Это позволило использовать жужелиц как объект для раннего выявления у муравьев профессиональных склонностей. Из муравьев, выращенных в лаборатории, охранниками становились особи, с раннего «детства» проявлявшие высокий уровень агрессии и к тому же обладавшие явно выраженным врожденным «образом врага», а возможно, и набором образов. Будущие охранники не избегали врагов, а без устали нападали на них, хотя это и было смертельно опасно [8].

Итак, муравьи довели нас до самого порога решения такой общебиологической проблемы, как разделение функций в сообществах, основанное на поведенческой и когнитивной специализации индивидуумов. Однако функциональная структура сообщества держится не только на группировке членов с изначально сходными свойствами. В жизни общественных животных большую роль играет социальное обучение, т.е. подражание поведению других особей. Помогает ли муравьям социальное обучение совершенствовать свои профессиональные навыки?



Муравьи на колонии тлей. Пастух передает падь транспортировщику, сторож охраняет колонию от вторжения хищников и чужих муравьев.

Фото Т.А.Новгородовой



Гнездо рыжих лесных муравьев.

Фото Т.А.Новгородовой



Зеленые муравьи-ткачи *Oecophylla smaragdina*, сшивающие гнездо из листьев.

© Фото Э.Уайлда

Есть ли у муравьев культура?

Недавно палеонтологи нашли окаменевшее гнездо, изготовленное более миллиона лет назад муравьями-ткачами, известными тем, что они «сшивают» свои жилища из листьев. В качестве живых орудий ткачи используют своих же личинок, заставляя их направлять застывающее на воздухе шелкоподобное вещество не на строительство собственного кокона, а на скрепление деталей будущего дома. Наши современники — это уже другие виды, принадле-

жащие к роду муравьев-листорезов. Возможно, поменялись и используемые виды деревьев и детали постройки. Однако сохранилась основа сложнейшего поведенческого стереотипа, заставляющего одних членов семьи искать подходящие листья и сблизать их края, а других — сшивать листья столь необычным способом. Поведенческая модель оказалась надежным комплексным признаком, пронесенным группой сходных видов насекомых через миллионы лет. Инструкции гнездострое-

ния, конечно, записаны не в фоллиантах муравьиных библиотек, а в муравьиных генах.

Однако в меняющейся среде муравьи, как и все другие животные, сталкиваются с потоком неожиданных проблем, вызванных, скажем, переменами в климатических и ландшафтных условиях: привычная добыча может исчезнуть или появиться новая; могут объявиться незнакомые враги, прежние жилища — оказаться непригодными. Экологам известно, что виды-«генералисты», в противоположность «узким специалистам», могут справиться с такими проблемами за счет гибкого поведения. В выигрыше окажутся популяции, в которых полезные навыки быстро распространятся и закрепятся. Однако животные консервативны, и новым формам поведения придется преодолевать «вязкую» среду исполнителей видотипического поведенческого репертуара. Примеров «учительства» у животных и описаний распространения культурных традиций в популяциях сравнительно немного в научной литературе, и они касаются главным образом высокосоциальных видов позвоночных [9].

Есть ли более простые и универсальные способы распространения полезных знаний и умений? Исследуя этот вопрос на примере охотничьего поведения муравьев рода *Myrmica*,



Жужелица и муравей в Y-образном лабиринте. Один его отсек безопасен для жука, а во втором, как злая собачка, привязан на тонком поводке муравей. Жужелица старается обогнуть врага (слева), но если это не удастся, будет убита.

Фото Е.А.Дорошевой и С.Н.Пантелеевой

мы открыли новую и, по-видимому, общую для многих видов животных форму передачи навыков в сообществах, которую назвали «распределенным социальным обучением».

Муравьи-мирмики, обычные обитатели лесной подстилки, оказались неутомимыми охотниками на прыгающих ногохвосток (*Collembola*) — крошечных беспозвоночных, в огромном количестве населяющих лесную почву и подстилку. Особый орган — прыгательная вилка — позволяет ногохвосткам быстро ускользать от преследователей. До недавнего времени считалось, что среди муравьев охотиться на ногохвосток могут лишь экзотические обитатели тропических лесов, снабженные челюстями, которые защелкиваются, как ловушка. Мы впервые обнаружили, что мелкие муравьи (и мирмики среди них), обитающие в почве и подстилке наших лесов и лугов, относятся к коллемболам как к массовой добыче. Мы наблюдали за охотничьим поведением в полевых экспериментах, используя стеклянные контейнеры с прозрачным субстратом, имитирующим лесную подстилку. Муравей, охотящийся на ногохвостку, действиями напоминает мышкующую лису. Быстро выяснилось, что в семьях муравьев есть и успешные охотники, и постоянно промахивающиеся «двоечники». Сравнив муравьев с другими ловцами ногохвосток, коротконадкрылыми жуками стафилидами, мы поняли, в чем их отличие: жуки не могут улучшить своих охотничьих показателей и переключаются на более простую для поимки добычу, а муравьи умеют обучаться. Обнаружилась и простая закономерность: чем больше ногохвосток водится вокруг муравьиного гнезда, тем богаче успешными охотниками эта семья. Такие виды муравьев, как мирмика, легко снимаются с места и могут всей небольшой семьей перебраться в более кормное место. Это означает, что в семье, попавшей

в биотоп, богатый вкусными «прыгунчиками», скоро оказывается достаточное количество успешных добытчиков [10].

Можно было предположить, что неуклюжие охотники постепенно перенимают приемы удачливых собратьев, наблюдая за ними: чем больше вокруг добычи, тем чаще совершаются успешные броски. Получается что-то вроде муравьиной «охотничьей культуры». Однако мы не спешили делать такой вывод и принялись экспериментировать с семьями, состоящими из муравьев, выращенных в лаборатории. Такие животные, воспитанные экспериментаторами в изоляции от исследуемых факторов и лишенные контактов со взрослыми, в этологии называются «наивными». Большинство «наивных» муравьев при первой встрече с ногохвостками вело себя с ними не как с потенциальными жертвами, а как с сородичами: ощупывали и даже соприкасались антеннами, выказывая самое дружеское расположение. Нужно подчеркнуть, что речь идет хотя и о «наивных», но полностью физиологически зрелых особях [11].

Казалось бы, вот убедительный аргумент в пользу того, что для проявления охотничьего поведения у молодых муравьев нужен пример старших. Чем не «муравьиная культура»? Тем не менее, мы продолжали тестировать членов «наивных» семей и... обнаружили несколько прирожденных охотников. У них слож-

ный стереотип охотничьего поведения проявлялся по принципу «все и сразу». Без колебаний эти муравьи бросались на прыгающую добычу и умерщвляли ее, используя стереотипную последовательность движений. Это говорит о том, что все элементы сложного охотничьего поведения могут быть у муравьев врожденными.

Однако в наших «наивных» муравьиных семьях носителей целостного стереотипа оказалось не более 10%. Эти особи служат «центрами кристаллизации» в процессе распространения охотничьих навыков в семье. Они обеспечивают социальное обучение остальных при условии достаточно высокой частоты встреч с потенциальной добычей. Здесь есть место для ответственного и далеко идущего предположения. Для муравьиных, да и не только для муравьиных, мозгов может быть слишком громоздок и «дорог», с эволюционной точки зрения, полный набор всех возможных стереотипов на разные случаи жизни. Сложные поведенческие модели, такие как обсуждаемый здесь специфический охотничий стереотип, могут присутствовать у большинства членов сообщества в виде «спящих» фрагментов, которые достраиваются до целого за счет взаимодействия с немногими «светочами врожденного знания». Это и есть, по нашему предположению, «распределенное социальное обучение».



Муравей *Myrmica rubra* убивает ногохвостку (слева), а «наивный» муравей, выращенный в лаборатории в отсутствие взрослых сородичей, выказывает ногохвостке дружеское расположение, соприкасаясь с ней антеннами.

Фото С.Н.Пантелеевой

Гипотезу «распределенного социального обучения» неожиданно подтвердили результаты исследований новокаледонских галок [12]. Птицы, способные в лабораториях ловко манипулировать разными предметами, у себя на родине изготавливают однотипные «крючки» и «грабли» из плотных листьев пандануса (напоминающего фикус) для добывания насекомых из-под коры деревьев. Сначала этологи расценили это как «орудийную культуру» у птиц. Однако сходство орудий и приемов их изготовления особями из пространственно разобщенных популяций заставило исследователей проверить, какую роль играет врожденная компонента в формировании орудийного поведения. В лаборатории из яиц вырастили четырех «наивных» птенцов. Трое из них владели лишь отдельными элементами орудийного поведения, а один уверенно взялся за изготовление типовых граблей. Объединив эти данные с нашими результатами, полученными на муравьях-охотниках, мы можем теперь объяснить поведение животных более экономично, без привлечения феномена «орудийной культуры» у галок и тем более — «охотничьей культуры» у муравьев.

«Культурная» передача навыков подразумевает имитацию — подражание последовательности удачных действий, приводящих к успеху. Подражание лежит в основе передачи информации негенетическим путем; известный российский генетик М.Е.Лобашев называл его сигнальной наследственностью. «Распределенное социальное обучение» включает использование генетически запрограммированных реакций и не требует такого сложного поведения, как имитация. Если в сообществе есть носители целостных поведенческих стереотипов, то носители «спящих» фрагментов этих стереотипов могут их достраивать до целостной поведенческой модели за

счет самых простых форм социального обучения. Здесь задействовано так называемое «социальное облегчение»: один только вид сородича, выполняющего какие-либо действия, уже помогает высвобождению и проявлению стереотипов, «дремлющих» в поведенческом репертуаре. Действует кумулятивный эффект: частые встречи с исполнителями поведенческих стереотипов помогают пробуждению такого же поведения у наблюдателей [13].

Необходимо отметить, что встроенные поведенческие стереотипы, хотя и весьма специфические, обладают некоторой универсальностью, предоставляя своим пользователям ту или иную степень свободы действий. Галки могут не только изготавливать типовые орудия, но и видоизменять их, если надо, до неузнаваемости. В наших опытах выяснилось, что стереотип «охотника на ногохвосток» действует во время охоты муравьев на жертв с определенными характеристиками движения, формой и размерами. В экспериментах муравьи охотились даже на невысоко летающих дрозофил. «Образ врага», с раннего «детства» запечатленный в мозгу будущих охранников, также оказался генерализованным. Муравьи реагируют на комплекс признаков, которые легко придать и искусственному врагу: темный цвет, определенный размер, двусторонняя симметрия и наличие выростов (ног, антенн). Если на смену врагам-жуелицам придут другие, со сходными признаками, муравьи встретят их во всеоружии. Подобные же обобщенные образы известны у птиц и зверей, реагирующих на хищников и врагов. Эти работы восходят к классическим опытам Н.Тинбергена и К.Лоренца, описавших паническую реакцию новорожденных цыплят на проносимую над ними картонную модель хищника (короткая «шея» силуэта впереди, длинный «хвост» сзади) и не реагирующих на ту же модель,

если она движется хвостом вперед (тогда из коршуна получается безопасный гусь). Важно отметить, что если врожденный стереотип сложен (как охота на «прыгунчиков»), то за счет некоторой его гибкости, по-видимому, оптимизируется процесс его «сборки» у большинства членов сообщества, которые обладают лишь отдельными его фрагментами.

Гипотеза «распределенного социального обучения» обсуждалась на международном этологическом конгрессе в августе 2007 г. и вызвала повышенный интерес специалистов в теории социального обучения. Ведь речь идет о неизвестной до сих пор и вместе с тем простой, по-видимому, универсальной форме распространения навыков в сообществах животных. А открыть ее нам помогли муравьи. Устройство муравьиного сообщества нам теперь тоже стало понятнее. Хотя и предстоит еще выяснить множество нерешенных проблем, мы, пусть в общих чертах, представляем себе, как муравьи выбирают профессию, как совершенствуют профессиональные навыки и какую роль играет в этом индивидуальный и социальный опыт.

Оркестр под управлением муравья

Экологи считают рыжих лесных муравьев «инженерной» группой видов, преобразующих ландшафт своей деятельностью (как, например, бобры). Муравьиные колонии насчитывают сотни муравейников и занимают многие гектары лесных массивов. Муравейники и муравьиные фуражировочные дороги фрагментируют жизненное пространство многих обитателей поверхности и верхних слоев почвы. Не только жук или паук, но и мышь не решится перебежать поток кусачих муравьев. Уж лучше держаться подальше. Так что одним своим присутствием муравьи воздействуют на

пространственное распределение и численность беспозвоночных и мелких позвоночных. А ведь для сотен видов животных муравьи — хищники, и еще для многих (от жужиц и пауков до птиц) — прямые или косвенные конкуренты.

Помимо «отрицательных» взаимодействий в экосистеме, муравьи формируют и множество «положительных». Муравейники дают приют огромному числу сожителей, среди которых массовые виды ногохвосток. Гнездо муравьев — это целый остров, со своими правилами общежития для многочисленных и разнообразных обитателей. В наших исследованиях выяснилось, что ногохвостки конкурируют за возможность заселения таких привлекательных местообитаний, как муравейники, и численность видов-победителей во много раз превышает количество видов в почве и подстилке вокруг гнезд муравьев. С сосущими хоботными насекомыми (такими как тли и цикадки) муравьи связывают прочные отношения симбиоза: они получают сладкую падь, защищая тлей от хищников и неблагоприятных погодных условий.

Члены нашей исследовательской группы получили много новых и интересных результатов, позволяющих представить общую картину роли муравьев в многовидовых сообществах животных. Важная составляющая наших комплексных исследований — выяснение этологических механизмов взаимодействия видов в сообществах с доминированием муравьев. Дело в том, что никто не подозревал, насколько гибким может быть поведение беспозвоночных. Среди них разве что перепончатокрылые, прежде всего муравьи, традиционно рассматривались как существа, способные к гибкому поведению, основанному на приобретенном опыте. Но жуки, пауки, тли и прочие... все они, за редкими исключениями, считались исполнителями

жестко закрепленных поведенческих стереотипов. Мы впервые экспериментально доказали, что муравьи не только формируют потоки численности животных, но и обучают их правилам поведения на общей территории. Это означает, что партнеры муравьев по межвидовым отношениям могут быстро усвоить их «уроки». Роль памяти и научения оказалась весьма значительной во взаимодействии беспозвоночных.

Например, выяснилось, что хищным жужицам достаточно одного-двух столкновений с рассерженным муравьем, чтобы у них надолго сформировалась тактика избегания конфликтов. В природе те жуки, которые научились лавировать или прятаться при встречах с муравьями, получают доступ к дополнительным пищевым ресурсам. Помимо живой добычи, которую можно найти на солнечных, хорошо прогреваемых муравьиных территориях, жужицы не прочь поживиться остатками хозяйских трапез. Привлекают жуков и «кладбища», места, куда муравьи аккуратно приносят и складывают трупы своих сородичей — истинное лакомство для жужиц. Однако все эти блага доступны только тем, кто быстро учится хорошо себя вести в присутствии хозяев [8].

По сравнению с активной жизненной позицией хищных муравьиных конкурентов, нежные и пугливые тли ведут себя скромно и проявляют полную готовность снабдить своих защитников сладкой пищей. Исследования, посвященные взаимодействию симбионтов на разных уровнях, от индивидуального до межвидового, позволили выявить ранее неизвестные поведенческие коадаптации и впервые описать драматическую картину борьбы за ресурсы как с той, так и с другой стороны. Члены многовидового сообщества муравьев стараются получить как можно больше углеводной пищи от

симбионтов, вкладывая поменьше усилий. В ход идут вооружение и обман, в терминах экологии описываемые как разные формы клептопаразитизма [14]. Разные виды тлей «соревнуются» за внимание муравьев, обеспечивающих им защиту и в конечном итоге рост численности популяций.

Оказалось, что поведенческий репертуар мирмекофильных (связанных с муравьями постоянными отношениями) и немирмекофильных тлей значительно различается. Поведение первых видов почти полностью состоит из элементов, адаптированных к симбиозу. Большая часть реакций направлена на привлечение внимания муравьев и коммуникацию с ними, а также на увеличение времени сохранения сладких выделений на кончике или внутри брюшка для последующей передачи муравьям. В репертуаре мирмекофилов практически отсутствуют защитные реакции, ведь тли находятся под охраной муравьев. На раздражающие или пугающие воздействия тли отвечают выделением капли пади, своего рода «взятки» потенциальному врагу. Поведение немирмекофильных тлей более гибко и разнообразно. В его состав входят элементы пассивной защиты, от спрыгивания с растения на землю до показа «устрашающих» поз, что позволяет им, по крайней мере частично, избежать нападения хищников [15]. Могут ли тли расширить свой поведенческий репертуар, научиться полезным для себя взаимодействиям? Этот вопрос требует детальных исследований, но основания для них есть: оказалось, что факультативно мирмекофильные виды, «колеблющиеся» между симбиотической зависимостью и самостоятельной жизнью, обладают некоторой гибкостью поведения. Определенно можно сказать, что зависимость мирмекофильных видов тлей от муравьев оказалась еще более глубокой, чем предполагалось ра-

нее. Однако до сих пор не был выявлен реальный вклад муравьев разных видов в потенциал численности и процветание популяций мутуалистов — прокормителей.

В нашей лаборатории впервые обнаружена зависимость между поведением муравьев, эффективностью их ухода за симбионтами и количеством видов тлей, связанных с разными видами хозяев. Из этого вытекают новые представления о разделении ролей в многовидовых сообществах, основанном на неравномерных вкладах разных видов муравьев в процветание популяций тлей на совместной территории, т. е. в развитие общей кормовой базы. Были выявлены совершенно несхожие поведенческие схемы взаимодействия разных видов муравьев с тлями. Профессиональная специализация с разделением труда между членами групп, работающих на колониях тлей, оказалась присущей только этологическим доминантам — рыжим лесным муравьям. Среди других видов, которые тоже «пасут» тлей, только доминанты обеспечивают им реальную защиту от хищников и неблагоприятных условий. В частности, как выяснилось, они образуют «защитную сеть», прикрывая тлей своими телами от дождя и ветра. Остальные

члены муравьиного многовидового сообщества — мирмики, более мелкие муравьи рода *Formica*, черные садовые лазиды, муравьи-древоточцы — взаимодействуют с тлями по более простым схемам. Они основаны либо на частичном разделении ролей в группах, либо на деятельности не связанных между собой фуражиров [16].

Эффективность ухода за тлями можно оценить как разницу между количеством колоний (выживших к концу сезона), посещаемых муравьями и изолированных от них. Мы проводили многолетние эксперименты с поочередной изоляцией (с помощью пластикового воротничка, надетого на ствол дерева) колоний тлей от муравьев, чтобы выявить такую эффективность. В результате оказалось, что инвестиции членов их многовидового сообщества в процветание совместно используемых популяций тлей неодинаковы. У этологических доминантов (рыжих лесных муравьев), с их глубокой профессиональной специализацией, показатель эффективности в 3-4 раза выше, чем у видов с частичным разделением труда. Получается, что именно доминанты вносят основной вклад в потенциал численности и процветания тлей. Остальные члены многовидового сообщества муравь-

ев так или иначе используют колонии тлей на общей территории, прибегая к клептопаразитизму — прямому воровству пади и косвенному [7, 16].

Итак, мы изучили взаимодействие муравьев с их симбионтами и конкурентами в естественных условиях и поняли, что эти насекомые выполняют функции «дирижеров» многовидового сообщества. Это помогло нам представить, в чем состоит выигрыш от сложных форм коммуникации и разделения труда в семьях муравьиных «приматов». Виды с языковым поведением и глубокой профессиональной специализацией в полной мере используют свои преимущества, играя роль «гегемонов» в таких сообществах.

Полученные результаты заставляют нас увидеть окружающий мир совсем не таким, каким мы себе представляли его ранее. В этом, новом для нас, мире такие скромные создания, как муравьи, умеют считать и обладают развитым символическим языком, благодаря которому передают друг другу абстрактные сведения. А сонмы других насекомых, казавшихся прежде запрограммированными «живыми машинками», на самом деле способны обучаться и гибко перестраивать поведение в быстро меняющейся среде межвидовых отношений. ■

Литература

1. *Reznikova Zh.* // Acta Ethologica (Springer). 2007. V.10. P.1—12.
2. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* // Журн. общ. биологии. 1990. Т.51. №5. С.601—609.
3. *Новгородова Т.А.* // Зоол. журн. 2006. Т.85. №4. С.493—499.
4. *Ryabko V.Ya., Reznikova Zh.I.* // New York. 1996. V.2. №2. P.3742.
5. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* // Журн. высшей нервной деятельности. 1999. Т.49. №1. С.12—21.
6. *Резникова Ж.И.* Интеллект и язык животных и человека: введение в когнитивную этологию. Учебное пособие для вузов (Гриф Минобразования РФ). М., 2005.
7. *Резникова Ж.И., Новгородова Т.А.* // Усп. соврем. биологии. 1998. Т.118. №3. С.345—356.
8. *Дорошева Е.А., Резникова Ж.И.* // Журн. общ. биологии. 2006. Т.67. №3. С.190—206.
9. *Резникова Ж.И.* // Журн. общ. биологии. 2004. Т.65. №2. С.136—152.
10. *Резникова Ж.И., Пантелеева С.Н.* // Усп. соврем. биологии. 2003. Т.123. №3. С.234—242.
11. *Резникова Ж.И., Пантелеева С.Н.* // Докл. РАН. 2005. Т.401. №1. С.1—3.
12. *Kenward B., Weir A.A.S., Rutz C., Kacelnik A.* // Nature. 2005. V.433. P.121—122.
13. *Резникова Ж.И.* // Усп. соврем. биологии. 2007. Т.127. №2. С.166—174.
14. *Резникова Ж.И.* // Зоол. журн. 2003. Т.82. №7. С.816—824.
15. *Новгородова Т.А.* // Журн. общ. биологии. 2004. Т.65. №2. С.153—166.
16. *Новгородова Т.А.* // Докл. РАН. 2005. Т.401. №6. С.848—849.

Загадки итальянской саранчи

М.Г.Сергеев,

доктор биологических наук
Лаборатория экологии насекомых

Итальянская саранча, или итальянский прус (*Calliptamus italicus*), — один из самых известных представителей прямокрылых насекомых (Orthoptera). Русское и английское (Italian locust) названия вида отражают его принадлежность к стадным саранчовым, или просто саранче (locust). Численность этих насекомых не просто увеличивается, а образуются огромные скопления личинок (кулиг) и стай взрослых особей, заметно меняются поведение, морфология, а у ряда видов — и окраска. Правда, прус не вполне типичная саранча: морфологические изменения у стадных особей проявляются всего лишь в относительно длинных надкрыльях, а отличий в окраске у них вообще нет.

Итальянский прус — ярко выраженный *r*-стратег (т.е. вид с бурным размножением и короткой продолжительностью жизни особей), предпочитающий полупустыни и степи и широко распространенный от Средиземноморья до степей Западной Сибири и аридных территорий Северо-Западного Китая. Вспышки массового размножения пруса нерегулярны, но в это время он может расселяться по множеству мест, где обычно не встречается. Очевидно, что при этом возможны перемещения особей из одной популяции в другую. В годы низкой численности в некоторых районах пруса настолько мало, что кажется, он здесь не живет.

Общие эколого-географические особенности итальянской саранчи изучены довольно хорошо, однако многое еще оста-

ется загадочным, в первую очередь потому, что основная часть информации относится к периодам массовых размножений. Одна из самых главных тайн — какие факторы определяют сложный характер многолетней динамики популяций вида. Данные, полученные в XI—XIX вв., слишком расплывчаты и не поддаются убедительной интерпретации. В прошлом веке обнаружена связь массовых размножений пруса на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье с динамикой солнечной активности [1]. Однако в других частях ареала вспышки отличаются длительностью и нередко сдвинуты на другие годы. Поэтому обычно область массового размножения как бы пульсирует в пространстве. Так, в 1920—1930-е годы подъем численности начался в Заволжье, а затем волнами сместился на запад и восток [2]. Во второй половине XX в. в трех

случаях вспышки начинались на востоке ареала и смещались в его центр. Однако развитие последнего (1992—2002) взрыва численности было иным: начало — в центральной части ареала (Нижнее Поволжье и Западный Казахстан), последующее расширение — на восток, северо-восток и северо-запад.

Результаты наших исследований 1999—2007 гг. в северо-восточной части ареала итальянского пруса — в Кулундинской степи (юго-восток Западной Сибири) выявляют гораздо более сложную картину многолетних изменений его поселений. Очевидна разнородность местных популяций как по особенностям динамики, так и по некоторым фенотипическим признакам. Перераспределение его максимальных и минимальных плотностей во времени и пространстве образует сложную «волнообразную» картину [3]. Это про-



Взрослая самка итальянского пруса.

Здесь и далее фото автора

© Сергеев М.Г., 2007



Личинки пруса на краю поля кормовых культур.



Кубышки саранчи после отрождения личинок, вымытые водой.

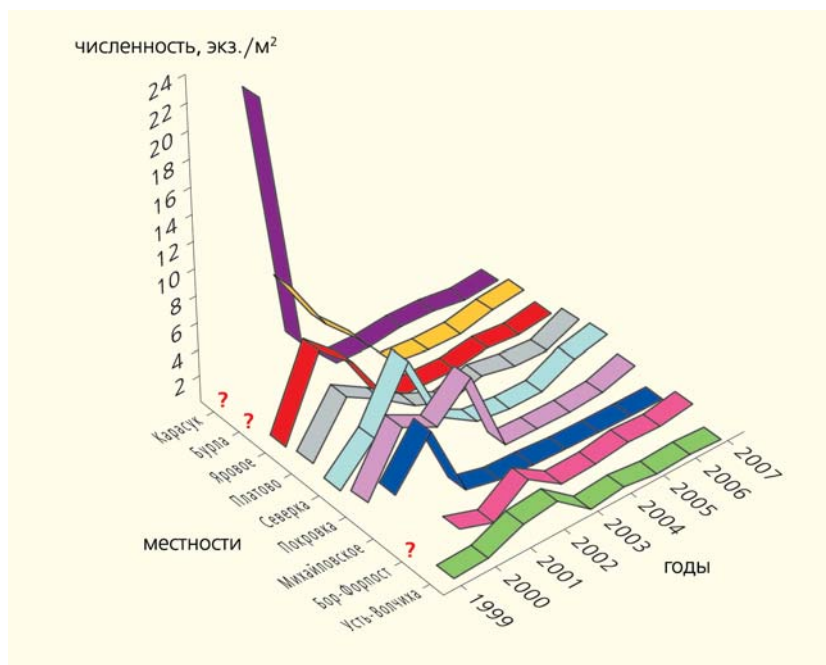
творечит традиционным представлениям об однонаправленности многолетних изменений численности вида в одном физико-географическом регионе. Именно поэтому необходимо учитывать такую волнообразность перераспределения, когда разрабатывается стратегия уп-

равления популяциями потенциальных вредителей.

Подъем численности пруса в Кулунде начался в 1999 г., а максимум пришелся на следующее лето. Этому способствовали погодные условия, в первую очередь теплая и сухая весна. Ни на одном участке из

числа обследованных не выявлена максимальная численность в 1999 г. Это косвенно свидетельствует о том, что залеты стай из соседних регионов были минимальными или же полностью отсутствовали. Вместе с тем в 1999 г. в некоторых районах Кулунды такие залеты, несомненно, случались. Примечательно, что даже в 1999—2000 гг. местные популяции по морфометрическим признакам (в основном по относительной длине надкрылий) были промежуточными между стадными и одиночными формами [3]. В 2002 г. проявился отчетливый и почти повсеместный переход популяций в одиночное состояние.

Постепенное снижение численности пруса привело к тому, что в 2003 и 2004 гг. на некоторых участках он вообще не был найден, а на других встречались лишь единичные особи. В промежутках между вспышками прус обитал как в нарушенных природных местообитаниях (например, на пастбищах), так и в агроландшафтах (особенно на полях кормовых трав и залежах) и придорожных кюветах. Летом 2004 г. на участках, расположенных в разных частях



Динамика численности итальянского пруса в 9 местностях Кулундинской степи в 1999—2007 гг. Знаками вопроса отмечено отсутствие данных.

Кулунды, — на юге, в центре и на севере — его численность немного повысилась (почти до 1 экз./м²) и продолжала увеличиваться в последующие годы. Тогда плотность особенно заметно возросла на некоторых старых полях житняка, а максимальной (2.9 экз./м²) стала на молодом поле кормовых трав, в то время по характеру растительности близком к залежам. Летом 2007 г. численность пруса в Кулунде увеличилась почти на всех обследованных участках, особенно заметно — на степных пастбищах, старых полях кормовых трав, преимущественно житняка (примерно в три раза) и залежах (в пять

раз). Максимальная зарегистрированная плотность составила 3.84 экз./м². Однако пока не обнаружены какие-либо отчетливые скопления пруса. При такой плотности с учетом того, что самка на протяжении жизни способна отложить 4—6 кубышек (обычно до 150 яиц), к осени может сформироваться значительный запас последних. В этом случае судьба популяций будет определяться главным образом погодными условиями второй половины весны 2008 г. Если возобладают теплые и сухие дни, то вполне вероятно дальнейшее нарастание численности и, соответственно, формирование кулиг и стай.

Все это означает, что мы сделали только один шаг на пути к установлению факторов, определяющих многолетнюю динамику итальянской саранчи. Реальная картина, если экстраполировать результаты, полученные в Кулундинской степи, на другие части ареала, оказывается крайне сложной. Можно предположить, что общий ход вспышки определяется как наложением локальных массовых размножений, так и возможным перемешиванием особей из разных популяций. Любопытно еще одно: наши наблюдения свидетельствуют в пользу того, что основной признак «стадности» — изменения в поведении. ■

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-04-00341), Интеграционного проекта СО РАН (№5.14) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1.5218).

Школа любви

М.А.Потапов

К счастью, миром правит не только сила, в основе его устойчивости и эволюции лежит любовь. Этой идеологии придерживается ученик академика Д.К.Беляева и продолжатель его школы Вадим Иванович Евсиков, более четверти века возглавлявший наш институт и созданную им лабораторию популяционной экологии и генетики животных, которая впоследствии вошла в состав отдела репродукции и гомеостаза популяций животных. Вадим Иванович против вульгарного понимания «борьбы за существование», при этом ссылается он на самого Дарвина, считавшего



Михаил Анатольевич Потапов, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией экологических основ охраны генофонда животных. Область научных интересов — популяционная биология наземных позвоночных животных, экология, изучение механизмов полового отбора и становления приспособленности животных.

успехом в ней в первую очередь обеспечение себя потомством, для чего важна не только конкуренция, но и подбор брачных пар. Изучению факторов и эф-

фектов брачного подбора посвящена значительная часть проводимых под руководством Вадима Ивановича исследований, поскольку он убежден, что

© Потапов М.А., 2007

изучение «эмоций» (инстинктивных реакций) поможет пониманию сути и природы тех самых интеграционных сил, действующих как в природных популяциях, так и в человеческом обществе...

При формировании исследовательской программы Евсиков ввел комплексный подход (были приглашены специалисты различного профиля) и принцип мониторинга — многолетних исследований природной популяции водяной полевки (*Arvicola terrestris*). Водяная полевка была выбрана неслучайно — огромная амплитуда колебаний численности и красочный полиморфизм делают ее удобным объектом популяционной экологии и генетики. Так в институте стала развиваться популяционная биология, в частности, исследования механизмов гомеостаза, поддерживающих адаптивную плотность, пространственную и генетическую структуру популяций. По словам Вадима Ивановича, в «оркестре» природы есть два ведущих «инструмента». И если воспроизводство — главная функция жизни, то гомеостаз — важнейшее ее свойство, заключающееся в стремлении системы удерживать динамическое равновесие, возвращаясь после отклонения в исходное состояние с сохранением жизненно важных параметров.

Дальнейшая разработка популяционных проблем потребовала углубления исследований для выяснения интимных механизмов «звериной любви», определяющих эффективность взаимодействия половых партнеров и, в итоге, — демографические и микроэволюционные процессы в природных популяциях. Наряду с полевыми исследованиями начали активно развиваться экспериментальные — по изучению факторов и эффектов брачного подбора.

В этом кратком обзоре я пытаюсь очертить некоторые из взаимосвязанных тем исследований и отмечу некоторые из

находок, сделанных под руководством Евсикова в разные годы его учениками — членами его научной школы «Феногенетика плодовитости и экологические основы внутри- и межвидовых адаптаций животных», получившей признание и поддержку Президентского фонда.

Половое размножение — великое достижение эволюции

Начнем с того, что после появления полового размножения отдельно взятая особь потеряла «самодостаточность» в деле воспроизводства, и это дало толчок эволюции свойств и признаков, обеспечивающих успешное функционирование уже новой, триединой элементарной единицы самовоспроизведения — семьи, состоящей из самца, самки и их потомков. Присутствие тут младшего поколения символизирует преемственность репродуктивного (и эволюционного) процесса, поскольку приспособленность потомка естественным образом приумножает или, наоборот, уменьшает адаптивную ценность каждого из родителей. Преимущества полового размножения известны: оно способствует накоплению скрытого мутационного резерва; достигаемая на его основе комбинативная изменчивость предоставляет материал для отбора и способствует устойчивости надорганизменных систем в изменчивой среде.

Для видов с половым размножением решающее значение в их эволюционном развитии имеет половой отбор — внутри- и межполовая его формы. Речь идет о соперничестве особей за право внести свою лепту в генофонд следующего поколения и об активно осуществляемом ими выборе брачного партнера. При этом сама неслучайность подбора брачной пары служит гарантией наиболее полного использования эволюционных выгод полового размножения

и высокой эффективности действия разных форм отбора.

Эволюция полового размножения сопровождалась усилением интеграции репродуктивной ячейки: появляется внутреннее оплодотворение; удлиняется период внутриутробного развития; у млекопитающих прогрессирует проницаемость плаценты; все большую продолжительность приобретает забота о потомстве. Однако все это приводит к усугублению конфликта воспроизводительной и иммунной систем, ведь беременность можно рассматривать как внедрение генетически чужеродного материала в женский организм. Такое противостояние нетерпимо, и Природа находит соломоново решение, оправданное приоритетной целью поддержания наследственного разнообразия в чреде поколений. Выбатываются отнюдь не механизмы избегания генетического несходства мужа и жены, матери и ребенка, напротив, — механизмы, благоприятствующие сочетанию «несовместимого»: встрече генетически разнородной пары и сверхкомпенсаторному обеспечению лучшего развития их плода. Для внутриутробного распознавания генетических различий эволюционно достигается огромная изменчивость по антигенам тканевой совместимости между матерью и плодом. При этом антигенная индивидуальность особей в явной форме обозначается в их фенотипе, и это позволяет животным учитывать ее на стадии формирования пары. У млекопитающих, для большинства из которых главный коммуникативный канал — обонятельный, эта информация закодирована в компонентах запаха.

Антигенные различия и распознавание родичей

Как было выяснено в исследованиях, проведенных на инбредных мышках с использованием межлинейных скрещиваний

и перекрестных операционных пересадок ранних зародышей, существуют специальные эндокринные механизмы компенсации возможных иммунологических проблем, возникающих при беременности в случае генетической несхожести матери и плода. При такой беременности достигается больший уровень прогестерона (главного гормона беременности), сохраняющего ее; возникают морфогистологические изменения в плаценте, способствующие лучшему снабжению зародышей белковыми соединениями. В итоге чужеродные зародыши, как правило, развиваются лучше, чем сингенные, т.е. генетически сходные. Более того, было показано, что в период вскармливания модифицируется состав материнского молока — в нем повышается содержание жира и белка, увеличивается его отдача, возрастает материнская забота о детенышах. Полного проявления достигает эффект гетерозиса — «гибридной силы» потомков.

Это общее правило, однако есть исключения: при определенных сочетаниях генотипов матери и зародышей таких благоприятных эффектов не наблюдается. Задавшись вопросом, могли ли самки анализируемых линий «предвосхитить» тот или иной ход событий после встречи с партнером, мы предоставили им возможность выбирать между запахowymi стимулами (подстилкой) разных самцов. Все встало на свои места: в случае оптимального сочетания генотипов, когда выполняется общее правило благоприятствования чужеродному плоду, наблюдалось и предпочтение генетически отличающегося самца, а в случае, если сочетание генотипов «неудачно», самки, напротив, загодя избегали «чужого» партнера. Таким образом, самки мышей продемонстрировали способность к генотипическому распознаванию и «резонному» выбору брачного партнера.

Представляется весьма жизнеспособной гипотеза, что тка-

новые антигены благодаря их изменчивости и участию в создании компонентов запахового «имиджа» служат маркерами генетического родства и даже индивидуальной неповторимости отдельных особей. Однако в гетерогенных популяциях эффекты иммунологической несхожести на репродуктивные предпочтения животных могут маскироваться влиянием других, привлекательных для самки, свойств партнера, скажем, его социального ранга. Можно полагать, что перед животными в природе не стоит задача «выискивать» генетически отличающихся партнеров, им попросту надо исключить из их числа возможных родственников и избежать тем самым инбридинга. И это им хорошо удается, что было подтверждено в опытах на водяной полевке. Самкам были предъявлены запаховые стимулы, полученные от самцов, находящихся в разной степени родства с ними. Чем ближе было родство, тем меньше самки интересовались такими самцами.

Репродуктивные стратегии и конфликт полов

Возникающая при половом размножении дифференциация полов приводит к эволюционному конфликту между ними. Самцы млекопитающих в большинстве случаев заинтересованы в том, чтобы оставить побольше потомков, но уйти от «ответственности» перед ними; самки же, на которых ложится забота о потомстве, стремятся разделить ее с самцами. У млекопитающих, не склонных к моногамии (она отмечена только у 10% видов), надежды самок не слишком оправданы. Однако поскольку именно они обычно осуществляют брачный выбор, то могут в той или иной мере определить взаимоотношения в будущей семье. В проведенном селекционном опыте, когда на протяжении нескольких поколений самкам мышей предо-

ставляли самостоятельно выбирать себе партнера, в экспериментальном стоке доля потенциально «моногамных» самцов, проявляющих заботу о потомстве, выросла до 70% по сравнению с 30% в контроле. Кстати, это сопровождалось снижением ювенильной смертности, что говорит о выгодах присутствия самца в семье.

Среди млекопитающих все же встречаются разные варианты межполовых отношений. Видимо, самки в стремлении удержать «мужа» в семье иногда преуспевают. Так, недавно была экспериментально выявлена отчетливая склонность к «супружеской верности» и проявлению отцовской заботы о потомстве еще у одного вида грызунов — степной пеструшки (*Lagurus lagurus*), претендующей тем самым на вхождение в узкий круг моногамных видов млекопитающих.

Но вернемся к более обычным полигамным видам. Основная проблема для самцов — вступление в связь с максимальным возможным числом самок, что обеспечивает отцовство по отношению к большему числу потомков и увеличивает их дарвиновскую приспособленность. Однако конкуренция между самцами приводит к тому, что немногим из них удастся достичь желаемого в отличие от почти поголовно участвующих в размножении самок. В результате многолетнего комплексного генетико-экологического мониторинга популяции водяной полевки выяснилось, что у данного вида проблема функционального избытка самцов усугублена еще и их численным (двух-трехкратным) преобладанием над самками весной — в начале репродуктивного сезона. Оказалось, что связано это с тем, что самки участвуют в размножении уже в год своего рождения, в результате чего позже самцов начинают готовиться к зиме, не успевают создать достаточного количества кормовых запасов и чаще гибнут за время зимовки.



Трогательные взаимоотношения царят в семье одного из моногамных представителей отряда грызунов — степной пеструшки.

Здесь и далее фото С.А.Абрамова

Преобладание самцов в начале сезона размножения чрезвычайно обостряет конкуренцию между самцами (особенно в годы высокой популяционной плотности) и понуждает к установле-

нию жесткой структуры иерархических отношений, причем наиболее крупные и конкурентоспособные самцы, оттеснив прочих, контролируют репродуктивный ресурс, о чем свиде-



Среди водяных полевок встречаются пегие особи — со «звездочкой» на голове. Этот признак плейотропно связан с адаптивно-значимыми характеристиками.

тельствует их более близкое пространственное размещение по отношению к самкам. Об остроте конкуренции самцов за право участия в размножении свидетельствует соответствие динамики среднего числа ран, получаемых в стычках с конкурентами, динамике численности популяции.

Однако высокая конкурентоспособность самца еще не гарантирует успеха в размножении. Решение остается за самкой. В серии экспериментов, выполненных на нескольких линиях мышей и водяной полевке, было установлено, что чрезмерно агрессивные самцы столь же непривлекательны для самок, как и проигрывающие им в конкуренции неудачники. Существует некая оптимальная с точки зрения самок агрессивность самцов, при которой они готовы к спариванию с ними.

Хотя с утверждением о большей энергетической стоимости размножения для самок млекопитающих не поспоришь, судьба самцов, как мы убедились, куда драматичнее, а репродуктивный успех гораздо более изменчив и часто непредсказуем.

Прокрустово ложе плодовитости

Самка, чье участие в размножении практически гарантировано и чье решение при формировании брачной пары оказывается главным, все же обладает лишь ограниченными возможностями влиять на численность своих потомков (показатель так называемой дарвиновской приспособленности). Ее плодовитость, как показано, в том числе и в работах В.И.Евсикова, — очень устойчивый (гомеостазируемый) признак. Это своего рода прокрустово ложе, ведь увеличение фактической плодовитости скажется на снижении жизнеспособности самой самки и ее потомков. Однако у многоплодных видов млекопитающих может умень-

пшаться число детенышей в помете за счет частичной потери женских зародышей. В итоге каждый новорожденный получает больше материнской заботы, а в выводке самцы, выросшие в таких условиях, крупнее и конкурентоспособнее своих сверстников. Из этого следует, что мать получает эволюционное преимущество (правда, через поколение), поскольку суммарный репродуктивный вклад ее конкурентоспособных сыновей значительно больше, чем у любой дочери.

Было показано, что такой путь компенсации потери плодовитости возможен в лучае, если самке достается не лучший самец. Такая ситуация возможна при недостатке выбора самцов в разреженной популяции или при снижении их качества под влиянием внешних условий. Подобные события наблюдались у водяных полевок и джунгарских хомячков, самки которых были вынуждены спариваться с самцами низкого ранга. Невозможность «сочетаться браком» с желанным партнером — своеобразный стресс для самок, что и сопровождается повышением смертности зародышей, при этом среди новорожденных и эмбрионов поздних стадий развития, судя по наблюдениям, проведенным в природной популяции водяных полевок, уменьшается доля самок.

Генетическая структура популяции

В природе, особенно при изучении мелких млекопитающих, трудно распознать, как и на каких основаниях осуществляются процессы формирования репродуктивных пар. Проще это сделать в условиях лаборатории: мы выявляли характеристики самцов, которые могут определять их репродуктивный успех, а также проводили анализ взаимного пространственного расположения особей, при отлове которых удается

изучить их этологические и морфофизиологические особенности. Так, для самцов такими характеристиками, которые в научной литературе принято называть предикторами приспособленности, могут быть уже упомянутые статус доминирования, агрессивность, морфологические показатели репродуктивного состояния. Эти характеристики служат одновременно показателями конкурентоспособности и репродуктивной активности самцов, а также теми маркерами, по которым самка делает свой выбор.

С использованием этих знаний удалось разгадать причины перестроенной генетической структуры популяции водяной полевки. Изучаемая популяция полиморфна по признаку «белой пегости» — по наличию белых отметин на голове, груди и других частях тела. Анализ многолетних данных позволил установить, что колебания частоты встречаемости пегих особей находятся в положительной зависимости от межгодовых изменений уровня стресса в популяции. Выяснено, что в нормаль-

ных условиях пегие самцы уступают непятнистым по способности доминировать, но в наиболее неблагоприятные для популяции годы оказываются более устойчивыми к стрессу и обладают более крупными размерами тела и репродуктивных органов. Отличия по этим характеристикам (предикторам приспособленности), отражающим как их конкурентоспособность, так и привлекательность для самок, определяют относительный репродуктивный успех пегих и непятнистых особей, что отражается в закономерных изменениях генетической структуры следующих поколений и в поддержании динамического генетического гомеостаза популяции.

* * *

Касаясь основополагающих принципов эволюции (редупликация — дифференциация — интеграция) и размышляя о судьбе своей научной школы и, конечно, института в целом, В.И.Евсиков говорит: «Мы — биологи, а потому видим нашу научную школу в образе живой «надорганизменной» системы,



В.И.Евсиков во время празднования 70-летнего юбилея (апрель 2005 г.) с Г.Г.Назаровой (ведущим научным сотрудником лаборатории популяционной экологии и фенотипики животных) и М.А.Потаповым.

Фото И.Л.Волошина

следующей в своем «эволюционном» развитии мудрым законам природы. Действительно, коллектив осуществляет «редупликацию» в форме воспроизводства научного потенциала. В нем существует «дифференциация», отражением которой является множественность объектов изучения (от беспозвоночных до млекопитающих и птиц), занимающих внимание отдельных исследовательских групп и лабораторий. И, наконец, мы надеемся, что наша «интеграция» — на основе общности базовых научных воззрений — послужит динамичному гомеостазу нашей системы и в будущем».

Занимая с 2006 г. должность советника РАН, Вадим Иванович

остаётся идейным лидером важнейшего направления исследований, проводимых в институте. Его научные интересы постоянно расширялись, в их сферу ныне включены взаимодействия в системах уже надпопуляционного уровня — в сообществах, экосистемах, системах паразит—хозяин. Он возглавляет работы по изучению сложнокомпонентных систем, обеспечивающих пространственно-временную организацию и устойчивость природных очагов инфекций. Его ученики руководят подразделениями и неформальными творческими коллективами, продолжая традиции преемственности в науке и сохраняя верность созданной им «школе любви». Вадим Иванович — ка-

валер ордена «Знак Почета» и, что мне представляется особенно знаменательным, — ордена Дружбы, полученного им в 2007 г.

Часто Вадим Иванович, то ли в шутку, то ли всерьез, советует всем нам, чтобы мы, наблюдая за тем, что лежит в основе предпочтений, влечений, пристрастий и даже «любви» у животных, и немало умерив человеческую гордыню, делали выводы и чему-то учились у Природы. Учились на ее «удачах» и «ошибках». Не все решает успех в гонке за место под солнцем. Суета сует. Для осуществления нашей «космической» функции куда важнее дружное — доброжелательность, расположение окружающих, мир и лад в семье. Любовь. ■

Джунгарские хомячки — лабораторные животные

Эти грызуны относятся к довольно редкому роду мохноногих хомячков *Phodopus*, родина которых — степи и пустыни северо-восточной Джунгарии, Манчжурии (Китай), Монголии, Казахстана, Тувы и Сибири. Кроме джунгарского хомячка (*Phodopus sungorus*) в роду есть еще два вида: хомячки Роборовского (*P. roborovskii*) и Кемпбелла (*P. campbelli*). Эти виды различаются окраской, морфологически (строение зубной системы — важным таксономическим признаком грызунов), числом хромосом (у джунгарского и Кемпбелла их по 28, у хомячка Роборовского — 34) и поведенческими признаками. Ареалы этих видов отделены друг от друга, лишь у хомячков Кемпбелла и Роборовского они частично

перекрываются. В лабораторных условиях хомячки джунгарский и Кемпбелла, граница ареалов которых проходит на Алтае, свободно скрещиваются и дают плодовитое потомство.

На территории России джунгарский хомячок обитает в Новосибирской обл., Алтайском крае, Хакасии. На западе он населяет лесостепные и степные районы Северной Кулунды, граничащие с Казахстаном, на востоке — хакаские степи. В Западной Сибири последние десятилетия в связи с распашкой целинных земель численность этого грызуна заметно сократилась. Сейчас поселения зверьков обычно находятся на степных опушках между колками и полями, которые остались нетронутыми после распашки. К агроландшафтам джунгарский хомячок приспосабливается плохо.

Зверьки в природе ведут скрытный образ жизни — в но-

рах глубиной до метра, с двумя камерами, в которых находятся зимние запасы. Животные потребляют растительную пищу, в основном — семена, не брезгают насекомыми и их личинками. Зимой хомячки, ставшие совсем белыми после осенней линьки, не впадают в спячку, а когда их численность высока, зверьки попадают даже на дорогах, которые перебегают в поисках семян в оставленных на зиму стогах сена. Размножаются джунгарские хомячки на воле в теплое время года — с мая по сентябрь самки приносят в среднем 4–5 выводков по 6–8 детенышей в каждом. Ученые из Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН выяснили, что самцы способны по запахам распознавать из ближайшего окружения особей разного пола, возраста и стадии физиологического состояния.

В 1980-х годах криобиологи из Германии в опытах изучали влияние холода на лабораторных хомячков и структуры мозга, отвечающие за адаптации к низким температурам. Среди других лабораторных животных джунгарский хомячок оказался чемпионом — выдерживал 80-градусный мороз. Такая устойчивость к холоду по-своему феноменальна, так как в природе зверьки никогда не испытывают влияния подобных температур.

На самом деле джунгарский хомячок, обитатель полупустыни, степи или лесостепи, в совершенстве приспособлен к суровости резко континентального климата: короткому жаркому лету и долгой холодной зиме. Это проявляется не только в жировых запасах и теплой меховой «одежде», но также в суточной и сезонной активности.

В нашем институте в последние годы изучается спонтанное поведение грызунов на фоне развивающегося иммунного ответа. Цель этого исследования — выяснить, влияет ли вызванная в экспериментах «болезнь» на двигательную активность зверьков. Для сравнения были выбраны лабораторные домовые мыши (*Mus musculus*). Их дикие сородичи обитали в центральной части Западной Европы в сравнительно мягких условиях умеренного климата, а хомячки населяют засушливые степи. Места обитания этих видов отличаются еще одним качеством: в степях, с их сухим климатом, количество микроорганизмов, в том числе и потенциально болезнетворных, меньше по сравнению с территориями, богатыми влагой. У хомячков и мышей пик активности в природе приходится на сумеречное и ночное время суток, но у джунгарского хомячка периоды активности ночью и покоя днем выражены более четко. В опытах живот-



Джунгарский хомячок.

Фото С.А.Абрамова

ным обоих видов вводили стандартный антиген, чтобы активировать их иммунные системы, т.е. имитировали некую «болезнь». Контролем служили не иммунизированные зверьки. Выяснилось, что после активации антигеном у джунгарских хомячков резко падает активность по сравнению с контрольными животными. Это результат так называемого «синдрома болезни», когда животное мобилизует ресурсы организма для борьбы с заболеванием. У лабораторных мышей активность тоже снижалась, но не столь значительно. Можно предположить, что такая реакция хомячков — следствие адаптации к жизни в среде со скудной антигенной нагрузкой. Ослабленный ответ на иммунизацию домашних мышей, видимо, обусловлен тем, что они исходно приспособлены жить в более «иммунногенной» среде, а за длительный период синантропизации это их свойство еще и усилилось.

В наших степях джунгарских хомячков становится все меньше и обратного не предвидится. К счастью, тысячи этих животных содержатся в лабораториях и у любителей-натуралистов по всему миру. За последние годы в опытах с лабораторными джунгарскими хомячками сделано много интересного в области физиологии, генетики, иммунологии, молекулярной биологии. Постоянно уточняются таксономия, вопросы происхождения и эволюции рода *Phodopus*. Джунгарские хомячки как лабораторные животные занимают передовые позиции среди многих других видов мелких млекопитающих.

© Литвинов Ю.Н.,

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории охраны генофонда
животных

Гармс А.И.,

ведущий инженер
лаборатории физиологических
адаптаций позвоночных
животных

Эхо активности ядер галактик

Н.Г.Бочкарев

Активные ядра галактик — это собирательный термин, введенный при описании широкого круга явлений, которые связаны с присутствием в центрах некоторых галактик мощных компактных источников энергии. Впервые на подобные объекты обратил внимание К.Сейферт в начале 1940-х годов: в их спектрах наблюдались сильные широкие линии излучения (рис.1). Теперь выделенный им класс галактик называют сейфертовским. Помимо сейфертовских, к галактикам с активными ядрами относятся радиогалактики, квазары и некоторые другие. Квазары*, самые яркие из них, как теперь известно, являются ядрами далеких массивных галактик, еще находящихся в стадии формирования.

Поразительная мощь

Обычные галактики и их ядра**, подобно составляющим их звездам, имеют спектры, содержащие много *линий поглощения*, а ширины линий определяются

* В литературе, особенно англоязычной популярной, словом квазар все чаще называют все виды активных галактических ядер. В научных журналах на английском языке стандартной стала аббревиатура AGN (Active galactic nuclei). Однако их русские аналоги до сих пор не прижились.

** Под ядром галактики понимается яркий точечный источник в ее центре.

© Бочкарев Н.Г., 2007



Николай Геннадиевич Бочкарев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, специалист в области физики межзвездной среды, изучения активных ядер галактик и кандидатов в черные дыры. Автор ряда монографий и учебников по астрофизике.

дисперсией скоростей звезд в галактике (несколько сотен км/с) [1]. Напротив, основная особенность спектров галактик с активными ядрами — очень интенсивные и широкие спектральные *линии излучения* [2]. Они видны на фоне яркого непрерывного спектра (континуума). Их ширина соответствует дисперсии скоростей ~10000 км/с (в разных объектах от 1000 до 25000 км/с).

Признаки активности демонстрируют ядра примерно 10% галактик. Диапазон болометрических светимостей (мощностей излучения, проинтегрированных по всем частотам) активных галактических ядер охватывает более девяти порядков величины. Самые слабые из изученных ядер (так называемые лайнеры) имеют мощность излучения примерно такую же, как и наиболее яркие звезды.

Активность галактических ядер привлекает пристальное внимание астрономов. При всем разнообразии объектов и явлений, происходящих во Вселенной, последнюю четверть века около 7% всех астрономов вовлечены в изучение этой проблематики. По данным Международного астрономического союза, ей посвящено наибольшее количество конференций.

Столь сильный интерес вызван тем, что активные галактические ядра — это самые мощные*** (производящие до ~10⁴¹ Вт — почти на 15 порядков больше, чем Солнце!) из длительно существующих (~10⁷ лет и более) источников излучения. Причем излучение наблюдается во всех диапазонах электромагнитного спектра

*** Еще большей мощностью излучения обладают гамма-вспышки [3], но продолжительность последних измеряется секундами.

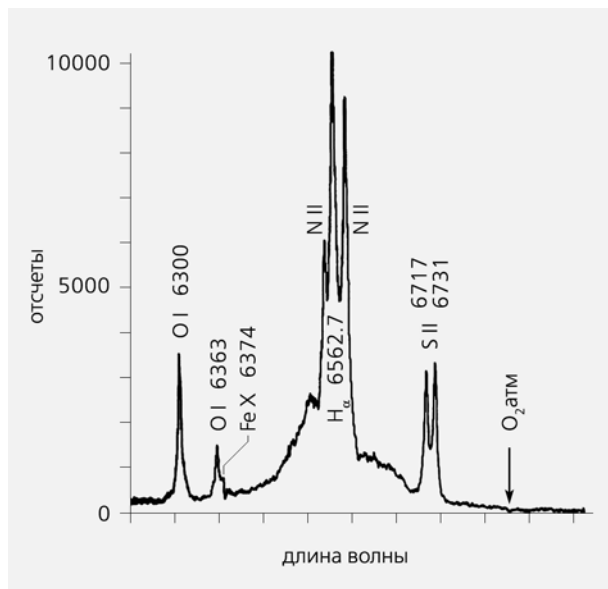


Рис.1. Фрагмент оптического спектра ядра сейфертовской галактики NGC 4151. В центре видна асимметричная широкая компонента — эмиссионная линия водорода H_{α} (разброс скоростей ~ 10 тыс. км/с). У линий указаны длины волн в ангстремах.

(рис.2) — от радиоволн (длина волны $\lambda \sim 30$ м) до гамма-излучения сверхвысоких энергий ($\sim 10^{15}$ эВ). Встречаются отдельные объекты, излучение от которых зарегистрировано в спектральном интервале, покрывающем по длинам волн 20 порядков величины.

Еще одно яркое проявление активности — узко коллимированные струйные выбросы релятивистской плазмы (джеты), вылетающие из некоторых ядер со скоростями, близкими к скорости света (рис.3) [4].

Имеются веские основания полагать, что эти уникальные свойства связаны с присутствием в активных ядрах сверхмассивных черных дыр с массами от многих миллионов до миллиардов солнечных масс ($\sim 10^{40} - 10^{43}$ г) [5]. Еще в 1964 г. Я.Б.Зельдович в СССР и Э.Солпитер в США отметили, что только выделение гравитационной энергии при аккреции (падении) вещества на черную дыру способно обеспечить длительное поддержание наблюдаемой мощности источников.

К середине 1980-х годов удалось создать качественную модель (так называемую унифицированную схему) строения «центральной машины» [6], работающей в активном ядре и длительно обеспечивающей огромное выделение энергии (рис.4). Она включает черную дыру, окруженную аккреционным диском. Вокруг диска имеется атмосфера, состоящая из множества отдельных газовых облаков.

Под «центральной машиной» в широком понимании этого выражения (а именно оно использу-

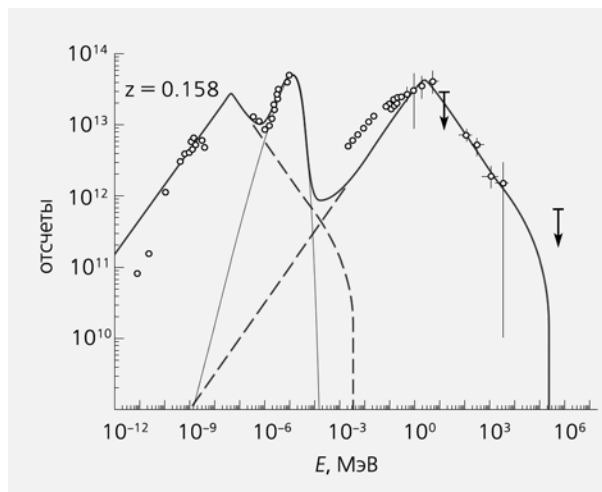


Рис.2. «Всеволновой» спектр ярчайшего и сравнительно близкого к нам (красное смещение $z = 0.158$) квазара 3C 273. Для него указано разделение излучения на компоненты, имеющие разное происхождение (разные механизмы излучения). Значками изображены наблюдательные данные, линиями — модельные расчеты. Низкочастотная часть спектра определяется синхротронным излучением; высокочастотная — комптоновским рассеянием. Между ними видна компонента, связанная в основном с тепловым излучением аккреционного диска вокруг центральной черной дыры.

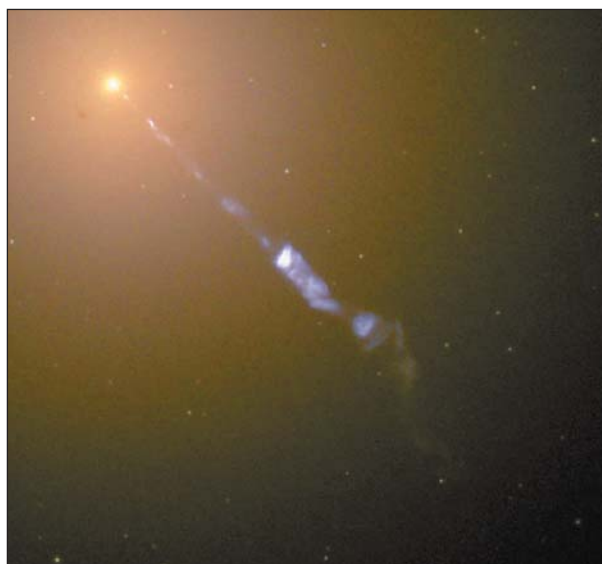


Рис.3. Односторонний джет в галактике M87. Светлое пятнышко в левом верхнем углу — ядро галактики M87. Плавно ослабевающий фон вокруг ядра — излучение звезд этой гигантской эллиптической галактики. Прерывистая сиреневатая линия — наблюдаемое свечение джета — синхротронное излучение ультрарелятивистских электронов джета в оптическом диапазоне.

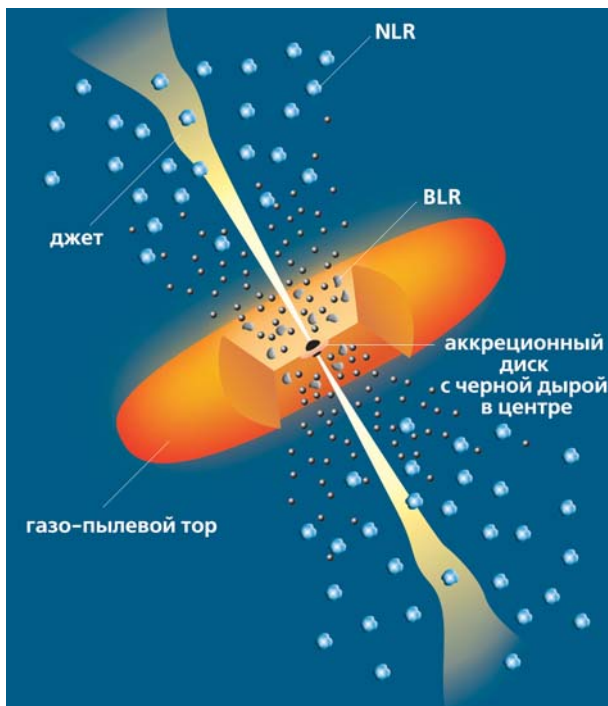


Рис.4. Унифицированная схема строения активного ядра галактики и «центральной машины» в ней, обеспечивающей длительную работу при огромной мощности излучения электромагнитных волн во всех спектральных диапазонах. В центре — черная дыра; вокруг нее — аккреционный диск. Диск окружен облаками, в которых образуются широкие линии излучения (отмечены буквами BLR — от англ. «broad line region»). На расстояниях от единиц до многих сотен, а иногда тысяч парсеков, находятся облака газа, светящиеся в узких спектральных линиях (обозначены буквами NLR — от англ. narrow line region).

ется в этой статье) имеются в виду все перечисленные структуры. В более узком смысле центральной машиной иногда называют только внутренние части аккреционного диска и иного вещества, находящегося в «непосредственной» близости вокруг черной дыры (в области 10–30 гравитационных радиусов вокруг нее).

Как мы теперь знаем, типичный размер описанной структуры 10^{13} – 10^{15} м. Вся она окружена газопылевым тором, непрозрачным в оптическом диапазоне, который может закрывать от наблюдателя внутренние части центральной машины. Если мы смотрим на активное ядро почти с ребра, тор мешает видеть широкие линии. Галактики, имеющие такую пространственную ориентацию, называются сейфертовскими галактиками второго типа (Sy2). В отличие от них, в сейфертовских галактиках первого типа (Sy1) внутренние части центральной машины видны. При некоторых условиях в ближайшей окрестности черной дыры формируются релятивистские джеты,

ориентированные перпендикулярно диску. Они выходят далеко за пределы газопылевого тора и часто простираются на сотни килопарсеков.

Огромная светимость активных галактических ядер, зачастую во много раз превосходящая излучение самой галактики, позволяет сравнительно легко наблюдать такие ядра, даже если они очень удалены от нас, вплоть до расстояний, составляющих многие миллиарды световых лет, и тем самым изучать процессы, которые происходили во Вселенной в далеком прошлом.

Эти «маяки Вселенной» расположены от нас настолько далеко, что по ним можно поддерживать точную систему координат гораздо лучше, чем по звездам. Данное обстоятельство было взято на вооружение уже в конце прошлого века. Итак, изучение активности галактических ядер представляет интерес не только с чисто познавательной, но и с прикладной точки зрения.

Сигналы о структуре

Еще одна важная и во многом удивительная, но очень характерная, особенность активных ядер галактик — переменность их излучения. Во много раз меняется оптический блеск, ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение (см. рис.2), интенсивность и формы профилей широких спектральных линий. Изменения носят не периодический, а в значительной степени шумовой характер (хотя, конечно, ряд закономерностей в них присутствует). В качестве примера на рис.5, слева, показаны результаты непрерывных измерений потока рентгеновского излучения ядра сейфертовской галактики NGC 4051 в течение 200 тыс. с (более двух суток). Видно, что излучение состоит из отдельных вспышек разной амплитуды и продолжительности. Там же приведен спектр мощности вспыхивающей активности, полученный на основе этих наблюдений. Он показывает зависимость мощности вспышек от частоты их появления (в расчете на 1 Гц частоты возникновения вспышек). Из него следует, что в данной галактике вспышки наблюдаются по меньшей мере в диапазоне частот от 10^{-3} Гц (≈ 17 мин) до $2 \cdot 10^{-5}$ Гц (≈ 15 ч). При этом ограничение со стороны высоких частот определяется точностью измерений очень быстрых и слабых изменений сигнала, со стороны низких частот — продолжительностью непрерывных наблюдений объекта.

В последние годы увеличение количества рентгеновских телескопов и их чувствительности позволило показать, что существенно более быстрой переменности от активных ядер не наблюдается, в то время как в сторону низких частот она тянется очень далеко. Это означает, что чем мощнее вспышка, тем реже она происходит.

Вообще переменность наблюдается в очень широком диапазоне характерных времен τ :

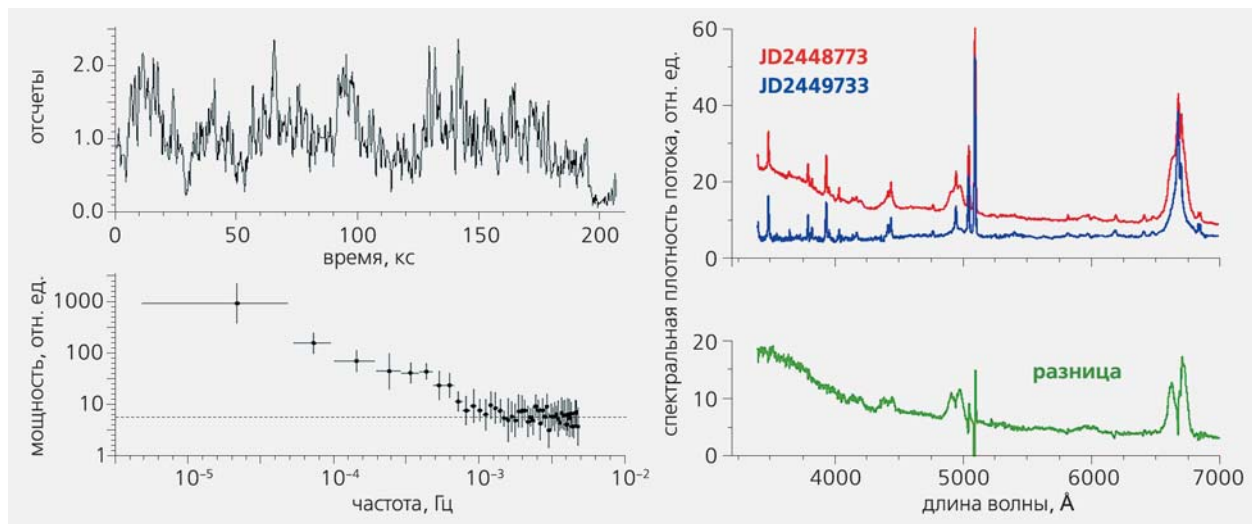


Рис.5. Примеры переменности излучения активных ядер галактик: рентгеновского излучения ядра сейфертовской галактики NGC 4051 (слева) и оптических спектральных линий сейфертовской галактики NGC 5548 (справа).

от многих десятков лет до немногих десятков минут. Размер же области, ответственной за формирование переменной компоненты излучения, не может превосходить значения

$$r = ct, \tag{1}$$

где c — скорость света.

Размеры центральных машин, обеспечивающих основное энерговыделение активных галактических ядер в оптическом и более высокоэнергетических диапазонах электромагнитного спектра, оказались столь малы, что нет возможности разглядеть их строение. Угловые размеры даже для наиболее близких объектов не превышают 10^{-5} секунды дуги. Поэтому до сих пор приходилось и еще по крайней 10 – 20 ближайших лет придется использовать лишь косвенные методы для их изучения.

Казалось бы, ситуация несколько лучше в радиодиапазоне, где уже давно действуют межконтинентальные и даже космические радиоинтерферометры, вскоре в России планируется запуск космического интерферометра «Радиоастрон». Однако газ в ближайших окрестностях центральной машины, как правило, непрозрачен для радиоизлучения. Исключение составляют объекты типа BL Lac, или лацертиды. Это те галактики с активными ядрами, на которые мы смотрим вдоль джета, т.е. вдоль направления, в котором излучающий в оптическом диапазоне сравнительно плотный (10^8 – 10^{13} частиц/ см^3 , или 10^{-16} – 10^{-11} г/ см^3) газ выметен потоком релятивистской плазмы, образующей джет. Плазма самого джета имеет малый коэффициент поглощения во всех диапазонах электромагнитного спектра, кроме самого длинноволнового радиоизлучения. Поэтому при наблюдении лацертид мы можем регистрировать

фотоны, образованные в очень глубоких областях центральной машины. Это относится не только к коротковолновому радиоизлучению, но также к оптическому и гамма-излучению, включая гамма-фотоны сверхвысоких энергий. Релятивистская плазма излучает в непрерывном спектре, причем преимущественно вдоль джетов. Поэтому наблюдаемое от джетов излучение оказывается настолько сильным, что на его фоне обычно не удастся увидеть даже следы излучения галактики, содержащей активное ядро. В результате в спектрах лацертид не видны спектральные линии (точнее, слабые линии можно с трудом наблюдать лишь во время наиболее глубоких минимумов общего излучения), и мы не можем определить геометрические размеры излучающей области.

Единственный метод, который в настоящее время позволяет определять геометрические размеры, строение и кинематику центральной машины, — метод эхокартирования (или реверберационного картирования). Он был разработан в 1982 г. американскими исследователями Р.Блэндфордом и К.Мак-Ки и одновременно автором этих строк совместно с И.И.Антохиным (в то время студентом Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова). Это означает, что были даны количественные характеристики того, какие наблюдения, насколько часто и с какой точностью надо проводить и как и какую именно информацию из них можно извлекать.

Переменность спектральных линий AGN была открыта в 1965 г. Первая попытка использовать переменность спектральных линий для определения размеров ядра была сделана в начале 1970-х годов в Крымской лаборатории ГАИШ А.М.Черепашуком и В.М.Лютым [7] (об этом чуть дальше). Качественное описание информации, которую мож-

но получить из наблюдений переменности, дал в 1980 г. С.Н.Фабрика, в то время аспирант ГАИШ, работавший под руководством Э.А.Дибая.

Переменность профилей спектральных линий, излучаемых активными ядрами, несет в себе информацию о структуре области излучения. Метод достаточно универсален, лишь для упомянутых латерид он неприменим (из-за трудностей наблюдения спектральных линий для них). Название метода отражает то обстоятельство, что изменение потока рентгеновского излучения ядра вызывает как бы эхо — волну изменения параметров окружающего газа и излучаемых им широких спектральных линий.

Рентгеновское излучение возникает в самых внутренних частях центральной машины в виде отдельных вспышек или групп вспышек. В рентгеновском диапазоне, как и в оптическом, преобладает излучение в непрерывном спектре, а ширины спектральных линий достигают 100 тыс. км/с, т.е. $1/3$ скорости света. Вспышечная активность проявляется прежде всего в рентгеновском континууме (рис.5, слева). По веществу центральной машины со скоростью света распространяется волна возмущения. Она изменяет температуру газа, его ионизацию, а значит и его способность излучать в спектральных линиях. Пока волна возмущения бежит по газу, профили спектральных линий меняются. Такие изменения несут в себе информацию о структуре и кинематике излучающего газа.

Действительно, пусть в первую очередь на изменение континуума откликаются самые внешние части профиля спектральной линии (наиболее удаленные от ее центра). Это означает, что внутренние участки газа, окружающего рентгеновский источник (именно они в первую очередь реагируют на вспышку), имеют большую дисперсию скоростей, чем более далекие участки, реакция которых на изменения континуума происходит позже. Если преобладают радиальные движения вещества, то на изменения континуума в первую очередь откликнется голубое или красное крыло линии, в зависимости от того, происходит ли падение газа внутрь «центральной машины» или его разлет.

Время τ , за которое профиль спектральной линии «отрабатывает» изменения в континууме, согласно формуле (1) дает нам оценку линейного размера r области излучения этой линии. Это связано с тем, что время, за которое световая волна проходит область формирования широких линий (дни, недели, месяцы), оказалось намного больше характерного времени релаксации температуры, состояния ионизации и излучательной способности газа, создающего такие линии. Вместе с тем τ в десятки раз меньше времени, за которое может измениться геометрия области излучения.

Как меняются линии излучения, демонстрирует рис.5, справа, где приведены два спектра излу-

чения сейфертовской галактики NGC 5548. Один из них (красная линия) соответствует моменту, когда активное ядро было очень ярким, другой (синяя линия) — спустя 2.5 года, когда объект был в состоянии очень низкой яркости. Ниже зеленая линия показывает разницу спектров, которая практически отсутствует в центральных частях спектральных линий — их узких компонентах — и велика в широких компонентах линий. Кроме этого, сильно изменился непрерывный спектр — исчез подъем в ультрафиолетовую сторону.

Данные по переменности, необходимые для измерения τ , обычно извлекаются из наблюдений путем статистической обработки большого количества данных, полученных при длительном и интенсивном спектральном мониторинге исследуемого объекта (см. рис.6, а, б, в). Спектральный мониторинг часто сопровождают фотометрическим мониторингом — измерениями яркости объекта в широких участках спектра, где основной вклад вносит излучение в непрерывном спектре, а переменность спектральных линий практически не проявляется.

Выполняя наблюдения в линиях, принадлежащих разным ионам различных элементов, можно определить стратификацию вещества (см. следующий раздел статьи). Наконец, знание размеров и скорости движения излучающего вещества позволяют надежно оценить массу центральной черной дыры. При наличии достаточно точных наблюдательных данных количественный анализ может дать и более тонкую информацию о строении центральной машины.

Однако описанный вид переменности спектральных линий и континуума имеет небольшую амплитуду. Поэтому получение материала необходимого качества в нужном количестве оказалось практически очень сложной задачей. А.М.Черепашук и В.М.Лютый в своей пионерской работе начала 1970-х годов заметили запаздывание отклика интенсивности спектральной линии водорода H_{α} на изменения континуума для нескольких близких и ярких активных ядер. Но эти данные носили предварительный характер и как минимум требовали подтверждения.

Для высокоточных спектральных наблюдений нужны крупные телескопы и хорошие приемники излучения. Первый пробный, короткий, но интенсивный и сравнительно высокоточный спектральный мониторинг был проведен автором в 1984 г. на крупнейшем в то время 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории (САО) Академии наук (пос.Нижний Архыз, Карачаево-Черкесия). С 1986 г. спектральный и фотометрический мониторинг постоянно ведется совместно с А.И.Шаповаловой и другими сотрудниками этой обсерватории.

Регулярные наблюдения в рентгеновском диапазоне были в те годы просто невозможны. Вместо этого приходилось ограничиваться фотомет-

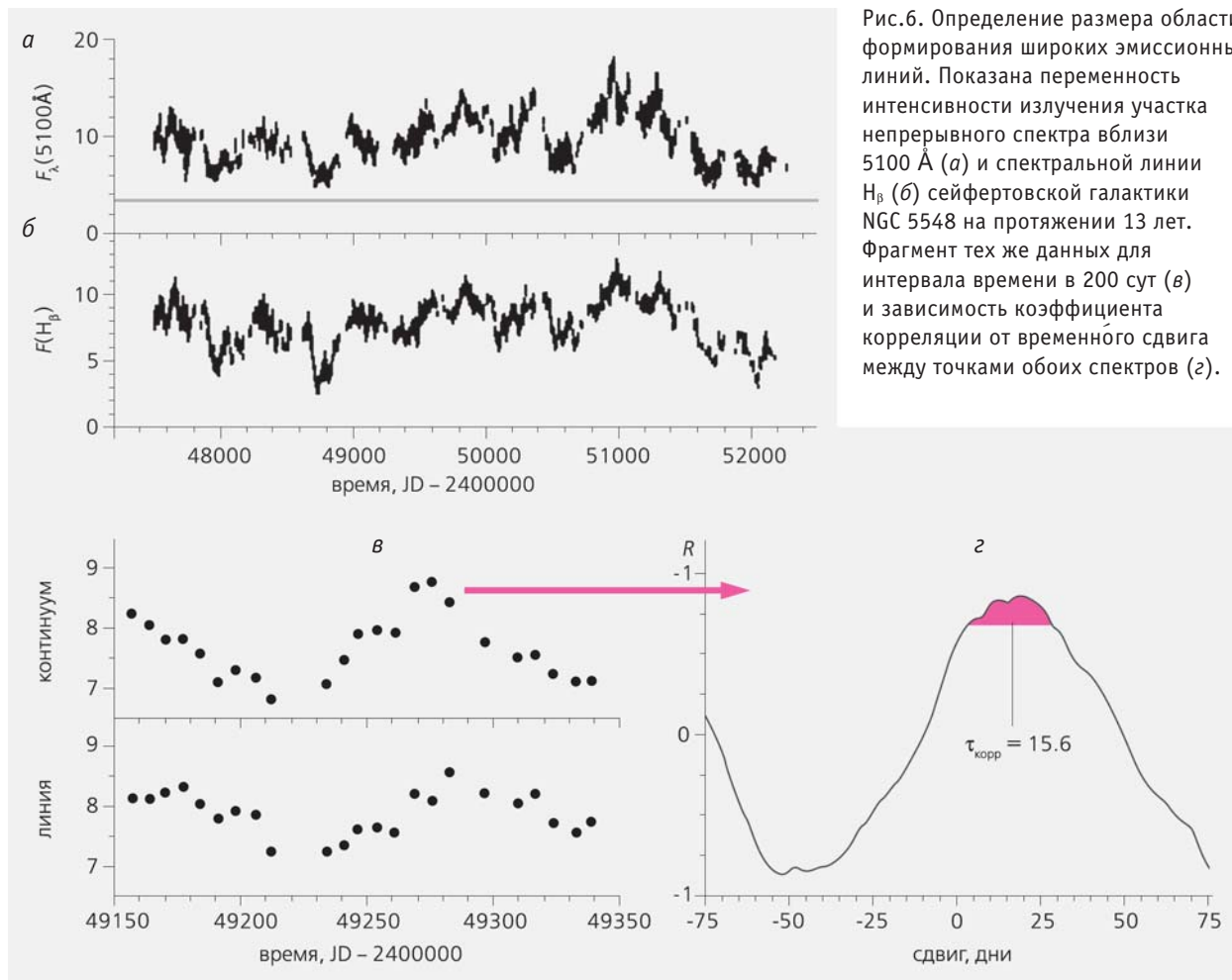


Рис.6. Определение размера области формирования широких эмиссионных линий. Показана переменность интенсивности излучения участка непрерывного спектра вблизи 5100 Å (а) и спектральной линии H β (б) сейфертовской галактики NGC 5548 на протяжении 13 лет. Фрагмент тех же данных для интервала времени в 200 сут (в) и зависимость коэффициента корреляции от временного сдвига между точками обоих спектров (г).

рическими измерениями оптического континуума. Лишь в последние годы удалось непосредственно убедиться в том, что оптический континуум отслеживает (с небольшим запаздыванием) вспышки рентгеновского излучения, т.е. сопоставление изменений профилей оптических спектральных линий и оптического континуума было правомерным. Но и регистрация переменности оптического континуума требовала по возможности круглосуточных наблюдений в течение очень длительного времени. Наблюдений, выполняемых только в Крыму и на Кавказе (в САО), было недостаточно.

Стало понятно, что надежные результаты можно получить только в рамках международного сотрудничества. Широкомасштабная международная кооперативная программа по фотометрическому и спектральному мониторингу активных галактических ядер начала выполняться в 1988 г. В течение более 15 лет в ней принимали участие около 150 ученых из 55 обсерваторий 35 стран [8]. В программе были задействованы также космические обсерватории — космический телескоп «Хаббл» и его более скромный, но очень результа-

тивный предшественник — International Ultraviolet Explorer (IUE), проводившие наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне. Программа стала одной из крупнейших в мире неформальных астрономических коопераций. К настоящему времени всемирная программа завершена. Однако она получила развитие в ряде специальных программ мониторинга, в одной из которых принимает активное участие автор этой статьи.

Как получается информация?

Поясним подробнее, как определяется размер области формирования широких эмиссионных линий, с помощью рис.6. Два верхних графика на нем представляют результаты более чем 13-летней работы широкой международной кооперации по наблюдению переменности спектральной линии H β и расположенного недалеко от нее участка непрерывного спектра (в области 5100 Å) сейфертовской галактики первого типа NGC 5548. По горизонтальной оси отложены юлианские да-

ты — широко используемый астрономами непрерывный счет дней.

Внизу показаны участки этих кривых, представляющие данные, полученные в течение 200 сут (рис.6,в), и результат кросскорреляционного анализа такого фрагмента данных (рис.6,з). Каждая точка кросскорреляционной функции — это результат расчета коэффициента корреляции R представленных слева рядов наблюдений — интенсивностей излучения в спектральных линиях и непрерывном спектре, сдвинутых друг относительно друга вдоль оси времени (горизонтальной оси) на величину, равную аргументу Δt на правом нижнем рисунке*.

Значение Δt , при котором функция $R(\Delta t)$ достигает максимума, соответствует наиболее вероятному времени задержки $\tau_{\text{кorr}}$ изменения интенсивности излучения в спектральной линии относительно континуума и, согласно формуле (1), — размеру r области, излучающей в данной линии. Зачерненная область вблизи максимума $R(\Delta t)$ отмечает неопределенность значения Δt , а следовательно, и размера r области формирования изучаемой спектральной линии в тот интервал времени, данные для которого были использованы.

Подобный анализ проводится для различных линий. Для галактики NGC 5548 интенсивность излучения измерялась в семи участках спектра в течение 9 мес. По данным об изменении непрерывного спектра в ультрафиолетовом (1380 Å) и оп-

тическом (5100 Å) диапазонах и в спектральных линиях He II (1640 Å), H I (L_{α} 1216 Å), C IV (1549 Å), C III (1909 Å), H I (H_{β} 4861 Å) были рассчитаны соответствующие кросскорреляционные функции относительно изменений континуума на длине волны 1380 Å. Выяснилось, что времена задержки относительно непрерывного спектра для разных спектральных линий оказываются существенно различными, т.е. размеры областей формирования разных линий различны.

На левом графике рис.7 собраны результаты, полученные указанным методом для NGC 5548 на основе упомянутых и других данных. Построена зависимость величины запаздывания от полной ширины спектральных линий на уровне, равном половине превышения широкой компоненты линии над непрерывным спектром. Указаны точности определения величин по обеим координатам. Заполненными и незаполненными кружками отмечены данные, относящиеся к разным интервалам времени. Видно, что как размеры областей формирования широких линий, так и ширины линий меняются во времени. Но эти изменения коррелированы таким образом, что в пределах точности полученных данных все они укладываются на одну прямую линию, соответствующую движению вещества вокруг массивного тела малых размеров, и удается определить массу этого тела (сверхмассивной черной дыры). В зависимости от предположения о кинематике движения вещества оценки массы могут различаться до двух раз. Такова точность метода. Несмотря на это, именно он дает основную информацию о массах сверхмассивных черных дыр.

На правом графике рис.7 построена зависимость измеренных указанным способом масс черных дыр, расположенных в центрах активных

* Коэффициент корреляции R показывает, насколько четко прослеживается зависимость между коррелируемыми величинами. Если зависимость является четкой, т.е. на изображающем ее графике все точки лежат на прямой линии, коэффициент корреляции близок к единице. При $R = 0$ зависимость отсутствует, т.е. график представляет собой «облако» случайным образом распределенных точек.

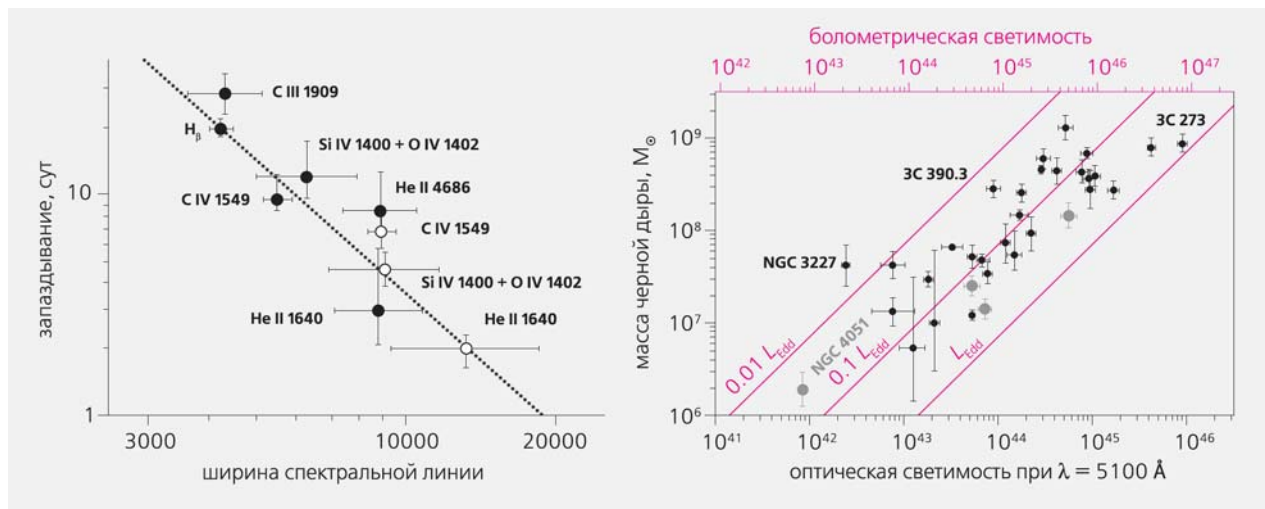


Рис.7. Строение области формирования широких эмиссионных линий по данным метода эхокартирования. Зависимость времени запаздывания спектральной линии относительно непрерывного спектра от ширины линии в ядре NGC 5548 (слева). Оценки массы черной дыры в центра активных ядер галактик в зависимости от их светимости (справа).

ядер галактик (отложены по вертикальной оси), от оптической светимости последних (нижняя шкала по горизонтальной оси) и от проинтегрированной по всем частотам болометрической светимости (верхняя шкала, указана цветом). График построен для 35 ядер, наиболее детально изученных описанным методом. Нижняя цветная наклонная линия соответствует эддингтоновской светимости ядра, когда черная дыра начинает «захлебываться» падающим на нее веществом. Две расположенные выше линии отвечают темпам аккреции в 10 и 100 раз меньше критического. Получается, что все активные ядра галактик «работают» в докритическом режиме, но не слишком далеко от него.

Что нового узнали?

Результаты многолетних коллективных усилий не только в целом подтвердили принятую схему строения центральной машины, но и внесли важные количественные и качественные уточнения. Размеры центральной машины (точнее, области формирования широких линий) оказались примерно в два раза меньше, чем считалось ранее (ее объем — почти на порядок меньше), а средняя плотность — втрое выше. Области образования широких эмиссионных линий, как и ожидалось, стратифицированы: линии иона He II излучаются из областей меньших размеров, чем линии атомов водорода, а линии трехкратно ионизованного углерода C IV образуются в еще меньшей окрестности центрального источника. Иными словами, чем выше потенциал ионизации иона, тем в меньшем объеме он присутствует и излучает. Зато широкие компоненты оптических спектральных линий иона железа Fe II , переменность которых подробно изучена была впервые, ведут себя подобно линии H_β атомарного водорода: линии обоих типов образуются практически в одном и том же месте.

Зная размеры областей излучения и дисперсии скоростей газа в них, можно получить оценки массы центральных машин. Важно, что массы определены намного точнее, чем ранее, и для значительно большего количества объектов. Примерно из 300 кандидатов в черные дыры, для которых найдены массы [5], более 90% — сверхмассивные черные дыры в активных галактических ядрах, причем большая часть оценок получена методом эхокартирования. Полученные значения масс указывают на то, что уровень светимости центральной области заметен ниже эддингтоновского предела [5]. Иными словами, процесс дисковой аккреции вещества на сверхмассивную черную дыру оказывается сравнительно спокойным — черная дыра «не захлебывается» веществом, поставляемым ей центральной машиной, и поглощает большую часть газа, поступающего в ее окрестности.

Мощность L излучения (светимость) активного ядра в этом режиме равна

$$L = (0.07 - 0.4) \dot{M} c^2, \quad (2)$$

где \dot{M} — темп аккреции вещества на черную дыру. Это соотношение означает, что в энергию излучения переходит от 7 до 40% массы покоя поглощаемого черной дырой вещества. Заметим, что при ядерном горении водорода (превращении его в гелий) коэффициент «переработки массы в энергию» равен 0.7%. Значительная часть выделяемой при аккреции энергии испускается в рентгеновском диапазоне.

Изменения в красных и голубых крыльях широких эмиссионных линий происходят практически одновременно, что говорит о преобладании в областях формирования линий круговых (или хаотических), но не радиальных (приток или отток) движений. Такое заключение можно с уверенностью сделать по меньшей мере для тех десяти объектов, которые были наиболее детально изучены в рамках описанной программы. Но это — весьма представительный десяток. В него входят многие типы активных ядер, различающихся по мощности энерговыделения на несколько порядков величины (правда, все же не все типы, и покрывают они пока не весь диапазон светимостей).

В частности, отсюда следует, что в исследованных классах активных галактических ядер истечение вещества в виде двух конусов, которые, как предполагается, должны окружать каждый из джетов (струйных выбросов плазмы из окрестностей центральной черной дыры), не дает значительного вклада в формирование широких компонент спектральных линий.

Однако в процессе мониторинга оптического излучения яркой радиогалактики 3C390.3 мы нашли особенности отклика спектральных линий на изменения интенсивности непрерывного спектра. Они, возможно, указывают на то, что в моменты достаточно сильных выбросов релятивистской плазмы окружающий эти выбросы газ может давать существенный вклад в излучение широких эмиссионных линий.

Чтобы прояснить ситуацию, мониторинг переменности оптического излучения этой радиогалактики недавно дополнен регулярным слежением за изменениями внутренней структуры ее радиоизображения. Радиоинтерферометрические наблюдения ведутся с угловым разрешением лучше 0.001 секунды дуги, что соответствует для данного объекта примерно 1 св. году.

Как выяснилось, параметры центральной машины (аккреционный диск и окружающий газ) не остаются постоянными: они существенно изменяются на характерной временной шкале ~10 лет. Например, в течение 15 лет интенсивного мониторинга активного ядра галактики NGC 5548 радиус области формирования широкой компоненты

спектральной линии водорода H_{β} испытывал медленные колебания в пределах от 6 до 26 св. дней.

Еще сильнее за последние два-три десятка лет менялась активность ядра галактики NGC 4151. Дважды за это время она практически затухала. Причем на время длившегося четыре года глубокого минимума активности 1984—1987 гг. широкие компоненты спектральных линий почти полностью исчезли. Не было видно также признаков оптического излучения аккреционного диска. Более того, до и после минимума цветовые и некоторые другие характеристики оптического излучения ядра (температура изменения блеска, максимальная яркость, вспышечная активность) сильно различаются. Складывается впечатление, что за это время «старый» аккреционный диск перестает существовать и на его месте появляется новый. Образующийся диск, вероятно, лежит в плоскости, не совпадающей с плоскостью симметрии разрушившейся аккреционной структуры. По-

добные явления, по-видимому, имели место и в нескольких других активных ядрах, для которых были отмечены эпизоды глубоких минимумов активности.

* * *

Как видно, природа неохотно раскрывает тайны строения и работы активных галактических ядер — мощнейших источников излучения во Вселенной. Требуются огромные и длительные совместные усилия больших международных коллективов ученых, работающих в самых различных областях астрономии, чтобы разгадать эти тайны.

Трудно представить себе, какое влияние на человечество может оказать познание механизмов работы этих ярчайших «маяков Вселенной». Особенно если учесть, что уже в 1980-е годы (т.е. через немногие десятилетия после обнаружения) они нашли практическое применение в качестве основных реперов метрологической службы. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 06-02-16843.

Литература

1. Сильченко О.К. Звездные ядра галактик // Природа. 2007. №2. С.15—22.
2. Вильковиский Э.Я. Квазары. М., 1985.
3. Липунов В.М. Гамма-всплески, русская деревня и первый робот-телескоп в России // Природа. 2006. №10. С.26—32.
4. Дершнев Е.В., Железняков В.В., Корягин С.А., Кочаровский В.В. Релятивистские джеты в астрофизике // Природа. 2007. №3. С.4—14.
5. Черпацук А.М. Демография черных дыр // Природа. 2006. №10. С.16—26.
6. Бескин В.С. «Центральная машина» в компактных астрофизических объектах // Природа. 2007. №8. С.29—38.
7. Лютый В.М., Черпацук А.М. // Астрономический циркуляр. 1972. №688. С.1—3.
8. Peterson В.М., Voshkarev N.G. et al. // Astrophys. J. 2002. V.581. P.197—204 (astro-ph/0208064).

Специалисты по акустике из Технологического института штата Джорджия (США) раскрыли секрет великолепной акустики театра в г.Эпидавре — одного из наиболее полно сохранившихся античных театров Греции. На основе детального численного моделирования они показали, что уступчатая поверхность, которая образована сиденьями в рядах амфитеатра, создает идеальный акустический фильтр. При этом звуки-паразиты (шум деревьев, говор или шепот зрителей) ослабляются,

позволяя высоким частотам голосов актеров достигать самых удаленных мест амфитеатра, находящихся в 60 м от сцены.

Science et Vie. 2007. №1076. P.18 (Франция).

Осьминоги, каракатицы и кальмары — подлинные мастера в искусстве маскировки: за несколько секунд они меняют окраску, сливаясь с ландшафтом. Р.Хенлон (R.Hanlon; Вудсхоллский океанографический институт, штат Массачусетс, США)

раскрыл секрет уникальных способностей этих головоногих. Оказывается, внутренний слой их кожного покрова содержит неизвестный доселе белок, обладающий исключительными свойствами — благодаря ему кожа моллюсков отражает световые лучи независимо от их длины волны и угла падения. Такая особенность обитателей моря очень заинтересовала американских военных.

Science et Vie. 2007. №1074. P.20 (Франция).

Кристаллические бораты — оптические материалы нового поколения

Н.И.Леонюк

Получение кристаллов сложного химического состава сдерживается теоретическими, методическими, инструментальными проблемами, которые возникают при их выращивании из многокомпонентных систем. В то же время они — потенциальные носители новых, а порой и неожиданных физических эффектов, ведь большинство традиционных кристаллов сравнительно простого состава всесторонне исследованы и в этом смысле в основном исчерпали свои ресурсы.

К подобного рода перспективным объектам относятся, в частности, тугоплавкие бораты, фосфаты, силикаты. Их внутреннее строение сложно и многообразно из-за склонности бора, фосфора и кремния формировать с кислородом анионы и полианионы, различные по составу и конфигурации.

Предрасположенность к полимеризации этих веществ реализуется в высокой вязкости их расплавов и стеклообразовании при охлаждении и в большинстве случаев является серьезным барьером при выращивании кристаллов. Так, вязкость расплава борного ангидрида в интервале 800—1100°C варьирует в пределах 400—60 пуаз. Даже у наиболее «жидких» расплавов боратов одно- и двухвалентных элементов в этом же темпера-



Николай Иванович Леонюк, доктор химических наук, профессор кафедры кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — рост и морфология кристаллов, физико-химия и технология кристаллических материалов.

турном диапазоне она меняется от 15 до 1 пуаз (для сравнения, вязкость воды при 20—50°C составляет 0.01—0.005 пуаз). Кроме того, при поликонденсации анионов уменьшается число их потенциальных связей с катионами, что снижает реакционную способность таких сред в целом. Кристаллохимический анализ особенностей формирования твердых фаз в поликомпонентных расплавах боратов полезен как при поиске новых кристаллических материалов, так и для оптимизации условий их синтеза.

Кристаллохимия боратных систем

В кристаллических структурах безводных боратов (особенно сложных) преобладают (около 65% соединений) изолированные BO_3 -треугольники. Почти половину остальных составляют каркасные соединения, в которых BO_3 -треугольники и BO_4 -тетраэдры делят между собой вершины (атомы кислорода) и образуют трехмерную борокислородную вязь. Затем по частоте встречаемости следуют островные, слоистые и цепочечные. Среди более чем 50 типов анионов и полианионов можно выделить по уровню сложности три категории «строительных деталей» (рис.1). Первая — это собственно BO_3 -треугольники и BO_4 -тетраэдры (рис.1,1), которые

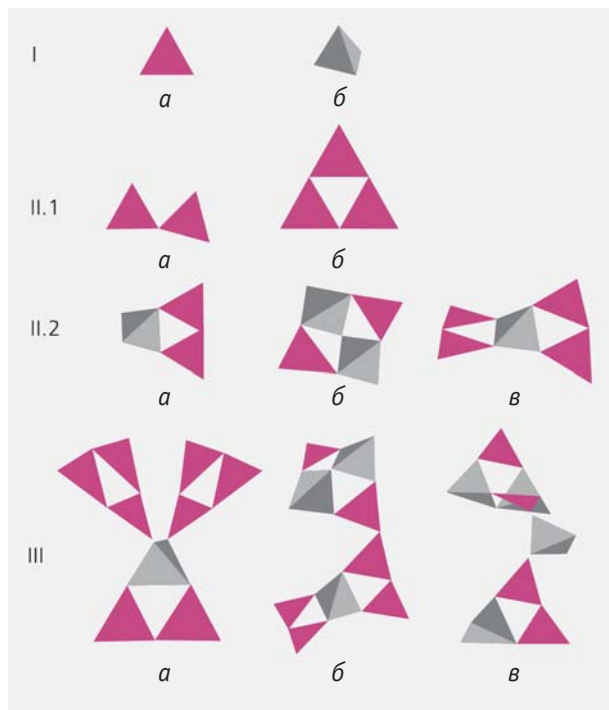


Рис.1. Три категории «строительных деталей» анионов и полианионов (в полиэдрическом изображении) в атомных структурах безводных боратов:

I — в изолированном виде представлены только в ортоборатах:

a — Δ , b — \square ;

II.1 — островные — в пиро- и метаборатах:

a — 2Δ и b — 3Δ соответственно или цепочечные — в метаборатах ($n\Delta$);

II.2 — в каркасных и слоистых структурах:

a — $(2\Delta + 1\square)$, b — $(2\Delta + 2\square)$, v — $(4\Delta + 1\square)$;

III — в каркасных и слоистых структурах:

a — $(3\Delta) + (2\Delta + 1\square)$, b — $(4\Delta + 1\square) + (2\Delta + 2\square)$,

v — $(2\Delta + 2\square) + (2\Delta + 1\square) + 1\square$.

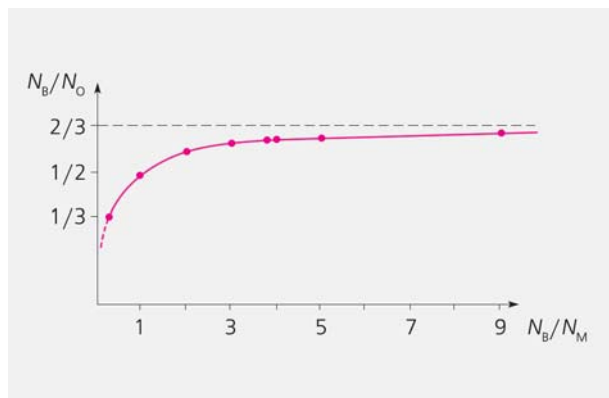


Рис.2. Зависимость степени полимеризации анионов (N_b/N_0) от отношения количества атомов бора к общему числу катионов ($N = N_b/N_m$) в структурах щелочных боратов.

в атомных структурах ортоборатов не контактируют друг с другом. Постройки второго уровня содержат от двух до пяти треугольников и/или тетраэдров (рис.1, II.1 и II.2). Они сравнительно компактны и находятся как в изолированном виде в островных структурах, так и охотно формируют бесконечные цепи, слои и трехмерные сетки (каркасы) в мета- и полиборатах. Конструкции третьей категории состоят из первых и вторых и по валовому составу равны (или кратны) борокислородному полианиону в химической формуле бората.









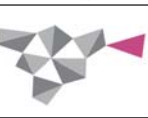





Тенденция к полимеризации анионов усиливается с уменьшением отношения $N = N_m/N_b$ (где N_m и N_b — соответственно общее число катионов и анионов в элементарной ячейке кристаллической структуры бората), а также с понижением валентности катионов (рис.2). При этом возрастает отношение числа атомов бора к атомам кислорода (N_b/N_o) и увеличивается (при $N \leq 1$) значение $n = n_\Delta/n_\square$, где n_Δ и n_\square — соответственно количества BO_3 -треугольников и BO_4 -тетраэдров в структуре.

При объединении борокислородных треугольников и тетраэдров абсолютные значения удельных отрицательных зарядов у сложных анионов монотонно уменьшаются в ряду орто-, пиро-, мета- и полиборатов. Это обеспечивает достаточную стабильность многочисленных конденсированных соединений с одновалентными, а также крупными двухвалентными элементами. Катионы с более высокими зарядами уже сами способны формировать сравнительно прочные собственные координационные кислородные полиэдры, составляющие основу кристаллических структур. Устойчивость анионов утрачивает доминирующую роль, и здесь широко распространены не только дискретные BO_3 -треугольники, но и тетраэдры с еще большим отрицательным зарядом (-5).

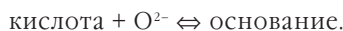
Руководствуясь рассмотренным подходом, можно обозначить (с осторожным оптимизмом, конечно) пути целенаправленного поиска новых кристаллических фаз в этих сложных системах. Так, например, атомная структура $Li_2O \cdot 4B_2O_3$, скорее всего, содержит трехмерные борокислородные сетки с $n = n_\Delta/n_\square = 2$. У $Na_2O \cdot 5B_2O_3$, $Na_2O \cdot 9B_2O_3$ и $K_2O \cdot 3B_2O_3$ тоже наиболее вероятны трехмерные полианионы (3D-постройки), но с $n = 4, 8$ и 2 соответственно. Структуры $Cs_2O \cdot B_2O_3$ и $Cs_2O \cdot 5B_2O_3$, очевидно, каркасные с $n = 3$ и 4 . Известно не менее 15 единиц третьей категории (рис.1, III), которые служат анионной основой кристаллических структур более чем 30 безводных боратов — потенциальных нелинейно-оптических и пьезоэлектрических материалов (табл.1).

Все эти кристаллохимические закономерности предопределяют реакционный потенциал расплавов боратов согласно известной теории Люкса—Флуда [1], по которой кислотно-основные

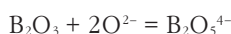
Таблица 1. Примеры анионов в нецентросимметричных боратах

Борокислородный радикал		Борат
	(1Δ) изолированные	$Mg_5(BO_3)_3F$; $Sr_5(BO_3)_3Cl$; $Ln_2Sr_3(BO_3)_4$; $RM_3(BO_3)_4$; $(K,Rb,Cs)Be_2(BO_3)F_2$; $(Sr,Ba)Cu_2(BO_3)_2$
	(2Δ) островные	$Mg_2B_2O_5$; $Gd_2B_2O_5$; $CaMgB_2O_3$
	(3Δ) островные	$\beta-BaB_2O_4$
	(2Δ + 2□) каркасные	$Li_2O \cdot 2B_2O_3$
	(2Δ + 1□) каркасные	$Li_2O \cdot 3B_2O_3$; $Cs_2O \cdot 3B_2O_3$; $CsLiB_6O_{10}$
	(2Δ + 1□) + (3Δ) каркасные	$\alpha-Cs_2O \cdot 9B_2O_3$
	(1Δ + 2□) + (4Δ + 1□) каркасные	$BaO \cdot 4B_2O_3$
	(4Δ + 3□) каркасные	$\gamma-Li_4B_7O_{12}Cl$
	(1Δ + 6□) каркасные	$\alpha-Mg_3B_7O_{13}Cl$
	(7□) каркасные	$\beta-Mg_3B_7O_{13}Cl$
	(6□) каркасные	$Zn_4(B_6O_{12})O$
	(8□) каркасные	CuB_2O_4
	(n□) каркасные	$\gamma-LiBO_2$
		

свойства зависят от активности иона кислорода в реакции:



Его можно оценить как функцию формального заряда полианиона B_nO_m , поскольку с усилением полимеризации аниона уменьшается число «свободных» связей у кислорода. Например, образующийся в результате реакции



«пироборатный» анион более основной по сравнению с исходным «кислым» оксидом бора. Таким образом, активность O^{2-} , а значит, и реакционная способность борсодержащего расплава падает с увеличением отношения N_b/N_o .

Поскольку атомы и другие частицы в таких вязких системах перемещаются медленно, то полученные при быстрой закалке стекла сохраняют явные следы «замороженных процессов», происходивших при высоких температурах. В частности, мы показали, что в кристаллах и стеклах редкоземельных боратов [2] катионы имеют одинаковую координацию по отношению к атомам кислорода (хотя с более высокой «средней» симметрией в расплавах). Анализ инфракрасных спектров поглощения стекол с $N < 1$ свидетельствует, что в них, как и в кристаллах, бор имеет преимущественно по три ближайших атома кислорода.

Выращивание кристаллов редкоземельных боратов

Рассмотрим специфику кристаллизации ортоборатов с общей формулой $\text{RAl}_3(\text{BO}_3)_4$ ($\text{R}=\text{Y}$, Pr – Lu), впервые синтезированных 40 лет тому назад. Интерес к этим материалам вызван комбинацией их функциональных характеристик (нелинейно-оптических, лазерных, активно-нелинейных и др.) в сочетании с высокой термической, химической и механической устойчивостью и уникальной (14–15 Вт/м·К) теплопроводностью. Благодаря возможности широкого изоморфизма в катионной позиции на их основе можно конструировать эффективные миналазеры и другие разнообразные электронно-оптические, акустоэлектронные приборы и, что особенно важно, новые высокотехнологичные активно-нелинейные устройства для научных, медицинских, промышленных и других целей.

Так, на кристаллах $(\text{Nd}, \text{Y})\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$ создан лазер с непрерывным излучением в зеленой области спектра. У $\text{Cr:NdAl}_3(\text{BO}_3)_4$ не наблюдается заметного концентрационного тушения люминесценции, и он обладает максимальным коэффициентом усиления среди известных твердотельных малогабаритных лазеров. Кристаллы же $\text{NdAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (NAB) характеризуются экстремально высокой концентрацией активатора, т.е. неодима, что позволяет ис-

пользовать их в качестве лазерных элементов с дисковой конфигурацией, где глубина эффективного поглощения излучения накачки составляет 100–200 мкм.

Эти материалы — представители большого семейства новых двойных боратов с общей химической формулой $\text{RM}_3(\text{BO}_3)_4$, где R — иттрий, лантан или лантаноиды, а M — алюминий, скандий, железо, галлий или хром. Все они при плавлении разлагаются на более простые фазы (т.е. плавятся инконгруэнтно) и, следовательно, не могут быть получены из собственных расплавов. Для них наиболее реальна раствор-расплавная кристаллизация ниже температур инконгруэнтного плавления. Кристаллохимический анализ показывает, что для выращивания кристаллов ортоборатов (с изолированными BO_3 -треугольниками) более благоприятны системы с невысокой концентрацией борного ангидрида, а также сложные расплавы, содержащие компоненты, способные разрыхлять боркислородные полимеры. К ним прежде всего относятся соединения с крупными катионами и катионами с высокой валентностью. Из многочисленных потенциальных расплавов-растворителей для таких боратов, по кристаллохимическим соображениям, предпочтение отдается полимолибдатам калия, $\text{K}_2\text{Mo}_n\text{O}_{3n+1}$ ($n = 1, 2, 3, 4, 6, 8$), температуры плавления которых при $n > 1$ не превышают 650°C. Изменяя отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{MoO}_3$, можно в какой-то мере корректировать структуру и свойства расплава, воздействовать на механизм и кинетику кристаллизации боратов.

В этих системах температуры, при которых начинает кристаллизоваться $\text{RAl}_3(\text{BO}_3)_4$, а также последовательность образования побочных твердых фаз, зависят от типа бората, его концентрации и состава расплава-растворителя. Так, при взаимодействии RAl -боратов с расплавом тримоллибдата калия многокомпонентный расплав обогащается борным ангидридом и редкоземельными катионами, что приводит к формированию редкоземельно-алюминиевых метаборатов со слоистой кристаллической структурой. В результате такого растворения выпадает в осадок высокотемпературный алюмоборат (Al_5BO_9), т.е. из расплава состава $\text{R}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-MO}_3$ удаляется изрядное количество Al_2O_3 . Руководствуясь принципом Ле-Шателье, образование алюмобората удастся подавить введением в исходный расплав дополнительных количеств B_2O_3 и R_2O_3 . Это еще больше усложняет исследуемые растворы-расплавы. Тем не менее в псевдочетверной системе $\text{RAl}_3(\text{BO}_3)_4\text{-(K}_2\text{Mo}_3\text{O}_{10}\text{-R}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3)$ на тетраэдре составов можно выявить треугольные сечения (рис.3), в пределах которых в равновесии с многокомпонентным расплавом в приемлемом температурном интервале (150–900°C) находятся лишь бораты состава $\text{RAl}_3(\text{BO}_3)_4$.

При выращивании кристаллов редкоземельных алюминиевых боратов на точечных затрав-

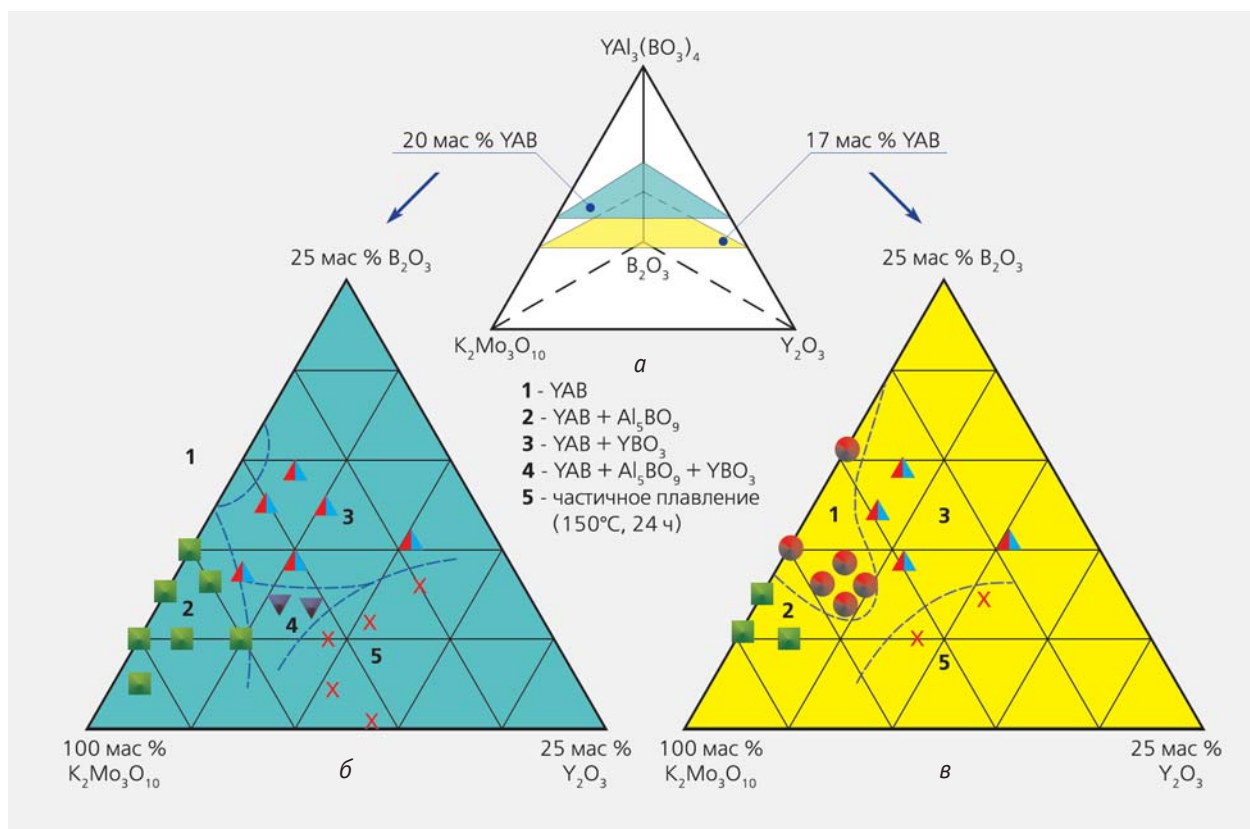


Рис.3. Треугольные сечения (а), соответствующие 20 и 17 вес.% YAB в системе $YAl_3(BO_3)_4-(K_2Mo_3O_{10}-Y_2O_3-B_2O_3)$ и составы расплавов $K_2Mo_3O_{10}-Y_2O_3-B_2O_3$ для кристаллизации YAB в диапазоне 1150–900°C: б — сечение 20 вес.% YAB и в — сечение 17 вес.% YAB.

как концентрация кристаллизующего вещества чаще всего составляла 17 вес.%, поскольку в этом случае для большинства из них, как и для иттриевого представителя, область монофазной кристаллизации наиболее обширна. Температура насыщения раствора-расплава в каждом цикле уточнялась зондовым методом с точностью до $\pm 1^\circ C$, а оптимальное его пересыщение поддерживалось в заданных пределах при охлаждении со скоростью от 0.2 до 2.5°C/сут, согласно экспериментальным данным по растворимости боратов. Для получения твердых растворов $(RE,Y)Al_3(BO_3)_4$ использовалась базовая система на основе YAl-бората (табл.2).

В результате были синтезированы и исследованы новые функциональные кристаллы редкоземельных боратов. В частности, из монокристалла

$(Er_{0.01}Yb_{0.11}Y_{0.88})Al_3(BO_3)_4$ оптического качества размером 15×10×10 мм изготовили лазерный элемент (рис.4). Высоковоспроизводимый синтез оптических материалов заданного состава достигается при эффективных коэффициентах распреде-

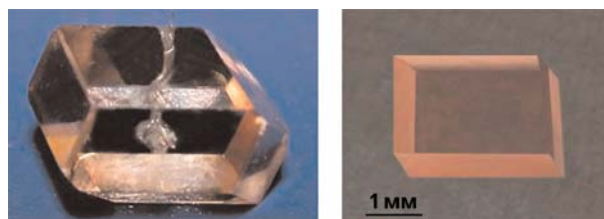


Рис.4. Кристалл $(Er_{0.01}Yb_{0.11}Y_{0.88})Al_3(BO_3)_4$ и изготовленный из него лазерный элемент.

Таблица 2

Условия кристаллизации $RAI_3(BO_3)_4$

Состав раствора-расплава	T, °C	Скорость охлаждения, °C/сут
17–20 масс.% $(RE,Y)Al_3(BO_3)_4$ – 83–80 масс.% $K_2Mo_3O_{10} - B_2O_3 - (R,Y)_2O_3$ RE = Nd, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	1100–1000	2.5–12

ления эрбия и иттербия между жидкой и твердой фазами в пределах 0.98–1.02.

Кинетика и механизм кристаллизации $\text{RM}_3(\text{BO}_3)_4$

При температурах 900–1050°C нормальные скорости роста кристаллов $\text{RM}_3(\text{BO}_3)_4$ линейно зависят от движущей силы кристаллизации [2] — относительного пересыщения $(C-C_0)/C_0$ (где C — концентрация бората в объеме раствора-расплава, а C_0 — равновесная концентрация на границе раздела твердой фазы и жидкости, в диапазоне значений относительного пересыщения от 0.005 до 0.070). Подобная кинетика обычно лимитируется объемной диффузией вещества в неподвижном растворе, например, в водном. Однако рассчитанные для такого случая константы скорости диффузии (K_d) на один-два порядка меньше, в то же время они подчиняются уравнению Аррениуса

$$K_d = A_d e^{-E/RT},$$

в котором E — энергия активации роста кристалла, A_d — константа, в первом приближении не зависящая от температуры, T — температура процесса и R — универсальная газовая постоянная. Оценка по углу наклона графика (прямой линии) логарифма K_d привела к величинам E от 170 до 335 кДж/моль, коррелирующим с содержанием в растворах-расплавах $\text{K}_2\text{Mo}_3\text{O}_{10}$, R_2O_3 и V_2O_5 . Это на порядок превосходит аналогичные характеристики диффузионно-контролируемого роста кристаллов из водных растворов.

Длительное (до 5 сут) вращательно-реверсивное, возвратно-поступательное, а также вибрационное перемешивание не увеличивает скорость роста кристаллов, что происходило бы в случае контролируемых диффузией процессов. Здесь скорее всего имеет место так называемый кинетический режим кристаллизации. Он определяется исключительно взаимодействиями на межфазной границе, а именно переводом преобладающих при высоких температурах в растворах-расплавах

VO_3 -треугольников из деформированной в различной степени борокислородной вязи в изолированное состояние. Такая перестройка связана с наибольшими усилиями, когда энергия активации роста сопоставима с энергией разрыва мостиковых связей В–О (519 кДж/моль).

Влияние химической природы жидкой фазы может быть определяющим. Так, в поликомпонентных боратных расплавах с трехвалентными катионами при концентрации борного ангидрида до 50 мол.% преимущественно кристаллизуются ортобораты с изолированными VO_3 -треугольниками. С последующим повышением содержания V_2O_5 эти соединения, как правило, сменяются метаборатами с тетраэдрической координацией атомов бора в двумерном полианионе. Особенно четко такая тенденция проявляется в случае крупных катионов типа лантана, церия, празеодима, неодима.

Перспективы использования монокристаллов $\text{RAl}_3(\text{BO}_3)_4$

У полифункциональных монокристаллов редкоземельных боратов нами впервые было продемонстрировано эффективное преобразование частот лазерного излучения (табл.3), намного превышающее аналогичные параметры известных сред [3].

Наши исследования последних лет свидетельствуют о новых возможностях применения этих уникальных материалов с рекордными характеристиками. На кристаллах боратов, легированных ионами иттербия, получены лазерные импульсы ультракороткой (фемтосекундной) длительности [4], что актуально для различных областей науки и промышленности, связанных со сверхбыстрыми релаксационными процессами, происходящими в микромире.

Высокая плотность в сфокусированных пучках и связанные с ней интенсивности электрических и магнитных полей позволяют изучать взаимодействие света с веществом в режимах, прежде

Таблица 3

Свойства активно-нелинейных кристаллов $\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$ [3]

Параметры	X = 0.2	X = 0.6	X = 0.8	$\text{LiNbO}_3:\text{Nd}$
Концентрация активных ионов, см^{-3}	$1.08 \cdot 10^{21}$	$3.24 \cdot 10^{21}$	$4.86 \cdot 10^{21}$	$3 \cdot 10^{20}$
Сечение генерационного перехода ${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{11/2}$, см^2	$10 \cdot 10^{-19}$	$10 \cdot 10^{-19}$	$10 \cdot 10^{-19}$	$1.5 \cdot 10^{-19}$
Сечение генерационного перехода ${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$, см^2	$1.8 \cdot 10^{-19}$	$1.8 \cdot 10^{-19}$	$1.8 \cdot 10^{-19}$	$0.26 \cdot 10^{-19}$
Время жизни ионов в возбужденном ${}^4\text{F}_{3/2}$ -состоянии, мкс	45	30	22	85
Эффективная восприимчивость на длине волны генерации, ед. сгсэ	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$10 \cdot 10^{-9}$
Углы фазового синхронизма θ_c при $T = 22^\circ\text{C}$ на $\lambda = 1.06$ мкм	$30^\circ 30'$	$30^\circ 40'$	$30^\circ 20'$	$80^\circ - 85^\circ$
Потери на пассивное рассеяние, см^{-1}	0.008	0.01	0.01	0.06
Лучевая стойкость $P_{\text{пор}}$, МВт/см ²	600	400	500	5

Таблица 4

Сравнительная характеристика лазерных сред, активированных ионами Er и Yb

Параметры	YAl ₃ (BO ₃) ₄ [4]	YCa ₄ O(BO ₃) ₃ [5]	YVO ₄ [6]	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ [7]	Фосфатное стекло [8]
Время жизни уровня ⁴ I _{13/2} , мкс	340	1230	2,32	7700	7500
Время жизни уровня ⁴ I _{11/2} , мкс	<20	0,2*	28	100	2
Энергия фонона, см ⁻¹	1400	1346	890	850	1300
Максимальное сечение поглощения в области 1 мкм, 10 ⁻²⁰ см ²	2,7	0,9	8	0,5	1
Ширина полосы поглощения в области 1 мкм, нм	17	5	7	4	10
Максимальное сечение стимул. излучения в области 1,5 мкм, 10 ⁻²⁰ см ²	1,4	0,6	2,9	0,7	0,89
Теплопроводность*, Вт/м·К	4,7	2,65	5,2	9	0,85
Эффективность переноса Yb—Er, %	88	97	56	—	80
Выходная мощность в непрерывном режиме, мВт	250	250	170	31	~150
Эффективность в непрерывном режиме, %	15	26,8	5	7	19
Выходная мощность в режиме модуляции добротн., мВт	107	88,2*	81	—	150

* Характеристики приведены для GdCa₄O(BO₃)₃.

недоступных для эксперимента. В химии и фотобиологии, воздействуя на молекулы фемтосекундными импульсами на разных длинах волн и с регулируемой задержкой, можно вызывать фотохимические реакции в определенных каналах, которые при облучении обычными источниками света не протекают. Открываются новые возможности и в прецизионной микрообработке материалов — важнейшем технологическом применении таких лазеров, а в медицине они обеспечивают проведение исключительно тонких операций, в первую очередь — в офтальмологии и нейрохирургии.

При активации ионами эрбия на кристаллах этого семейства можно получать лазерное излучение с длиной волны около 1,5 мкм. Спектральный диапазон 1,4—1,6 мкм наиболее безопасен для глаз, поскольку излучение полностью поглощается роговицей глаза и не повреждает сетчатку. При меньших длинах волн легко разрушаются ткани сетчатки, а более длинных — роговая оболочка глаза. Кроме того, излучение 1,5—1,6 мкм характеризуется малыми потерями при прохождении через атмосферу (так называемое второе окно ее прозрачности), а также оно имеет низкие значения дисперсии и поглощения в кварцевом волокне, что позволяет передавать импульсы на большие расстояния с минимальными искажениями.

Эти кристаллы, несомненно, превосходят по своим функциональным свойствам используемые в настоящее время для стимулированного излучения в области 1,5 мкм легированные ионами Er³⁺ фосфатные стекла. Максимальные выходные мощности лазеров, построенных на их основе, ограничены примерно 150 мВт из-за низких термических характеристик стекол (табл.4).

Вместо заключения

С кристаллохимических позиций несложно оценить и перспективы синтеза других боратов. Например, кристаллизация ортоборатов типа InBO₃, BaCaBO₃F, Ba₇(BO₃)₃F₅, KBe₂VO₃F₂ также ограничивается перестройкой боро-кислородных радикалов из полимерного в изолированное состояние. Здесь также уместны добавки молибдатов, вольфраматов и фторидов с крупными одно- и двухвалентными катионами. Формированию димеров V₂O₅ при выращивании кристаллов Mg₂V₂O₅, Cd₂V₂O₅, KNbOB₂O₅ и трехчленных метаборатных колец V₃O₆ у β-BaV₂O₄ (структурная формула — β-Ba₃[V₃O₆]₂), очевидно, будет способствовать присутствие в расплаве катионов средних размеров типа Na⁺. Не меньший интерес вызывает возможность воздействия на кинетику кристаллизации Li₂B₄O₇, LiB₅O₅, CsB₃O₅, SrB₄O₇, Sr₂Be₂B₂O₇ и SrLiB₉O₁₅, анионной основой кристаллических структур которых служат громоздкие трехмерные полианионы V_nO_m. Их трансформацию из жидкой фазы в кристалл облегчат добавки молибдатов щелочных металлов, выполняющих роль своего рода катализаторов. Однако механизм такой реконструкции на межфазной границе пока не совсем ясен.

Закономерности кристаллогенезиса боратов распространяются и на другие подобные системы с «конденсированными» анионами — например, силикатные, фосфатные, германатные, процесс затвердевания которых можно также рассматривать с позиций активности кислорода как функции формального заряда полианиона A_nO_m, где A — Si, P и Ge.

Систематическое исследование условий выращивания из растворов в расплавах кристаллов, особенно новых и перспективных материалов —

очень актуальная, хотя и чрезвычайно трудоемкая междисциплинарная задача в области кристаллографии, минералогии, физикохимии неорганических материалов, физики твердого тела и др.

В конкретном минералогическом плане, немаловажным поводом для детального экспериментального исследования кристаллогенезиса редкоземельных соединений в «сухих» (безводных расплавах) боратных системах служит недавняя находка первого природного безводного редкоземельного бората пепроссиита [9]. Еще десятилетием раньше даже упоминание о таком явлении считалось весьма сомнительным. В публикациях

последних лет отмечается возможность изоморфного замещения, как в катионных, так и в анионных позициях этого минерала. Не исключено, что в подобной геологической обстановке могут быть обнаружены и другие безводные бораты родственного состава, уже синтезированные в лабораторных условиях.

Таким образом, это — дополнительный аргумент в пользу междисциплинарного подхода, основанного на сопоставлении экспериментальных данных по синтезу кристаллов с результатами полевых наблюдений, непосредственно касающихся условий формирования их прототипов. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 00-05-65350 и 04-05-64709.

Литература

1. *Витинг Л.М.* Расплавленные растворители для высокотемпературной калориметрии // Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР. 1978. Т.4. С.5—42.
2. *Leonyuk N.I., Leonyuk L.I.* // Prog. Crystal Growth and Charact. 1995. V.31. P.179—278.
3. *Дорожкин Л.М., Куратов И.И., Леонюк Н.И. и др.* // Письма в ЖТФ. 1981. Т.7. №21. С.1297—1299.
4. *Leonyuk N.I., Maltsev V.V., Volkova E.A. et al.* // Opt. Mater. 2007. V.30. P.161—163.
5. *Burns P., Dawes J., Dekker P. et al.* // J. Quantum Electron. 2004. QE-40. P.1575—1582.
6. *Tolstik N.A., Trosbin A.E., Kurilchik S.V. et al.* // Appl. Phys. 2007. B86. P.275—278.
7. *Schweizer T., Jensen T., Heumann E., Huber G.* // Optics Communications. 1995. P.118.
8. *Denker B., Osiko V., Galagan B. et al.* // Advanced Solid-State Lasers 2002. Conference Technical Digest. Quebec City, Canada. February 3—6, 2002. P.TuB5.
9. *Callegary A., Caucia F., Mazzi F. et al.* // Amer. Mineral. 2000. V.85. P.586—593.

В Базеле (Швейцария) приостановлены работы по проекту первой в стране геотермальной теплоэлектростанции. Тепло недр предполагалось использовать, нагнетая воду под давлением в скважины на глубину 5 км, где температура составляет около 200°C. Нагретая таким образом вода должна была обогревать примерно 2700 домов и снабжать электроэнергией еще около 10 тыс. Однако испытания привели к возникновению четырех легких (около 3 баллов по шкале Рихтера) сейсмических толчков, которые вызвали панику у населения. Теперь до получения научной экспертизы работы не возобновятся.

Sciences et Avenir. 2007. №722. P.32 (Франция).

Культивируя с использованием разбавленной морской воды обычные помидоры, итальянские агрономы достигли очень высокого уровня антиоксидантов в этих овощах. Фактически подвергнутое окисляющему воздействию соли, все растение в ответ вырабатывает витамины А, Е и липоевую кислоту. Этот прием гидропонного выращивания не уменьшает урожайность и позволяет сократить расход питьевой воды в прибрежных засушливых районах.

Sciences et Avenir. 2007. №723. P.25 (Франция).

За один месяц 30 тыс. т частиц сажи пересекают Тихий океан и достигают Северной Америки. По данным О.Хэдли

(O.Hadley; Калифорнийский университет, США), три четверти этой массы поступает из Китая или Индии в результате сжигания биомассы и угледорождений. Эти частицы микрометрового размера перемещаются на высоте более 2 тыс. м. Их воздействие на климат двойственно: они снижают уровень солнечной радиации, приводя к охлаждению земной поверхности, но при этом поглощают часть теплового излучения, нагревая таким образом атмосферу. Второй эффект воздействия превалирует, и эти аэрозоли сказываются в определенной мере на глобальном потеплении.

Science et Vie. 2007. №1076. P.48 (Франция).

Исследования палеолимнологов в Крыму

Д.А.Субетто,
доктор географических наук
Т.В.Сапелко,
кандидат географических наук
В.Ф.Столба,
кандидат исторических наук
Санкт-Петербург

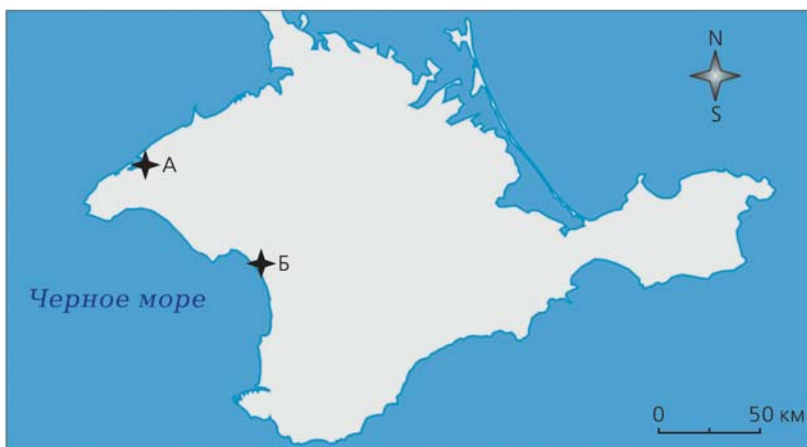
Тот или иной ход развития отдельно взятого человеческого сообщества определяется целым рядом факторов, различных как по силе воздействия, так и по своей направленности. Многие участвующие в этом процессе силы все еще скрыты от нашего понимания. Насколько велика была роль естественных, природных факторов, и прежде всего климата и его резких изменений? Чтобы

ответить на этот и ряд других вопросов, с 2005 г. на соленых озерах Крымского п-ова ведутся уникальные комплексные палеолимнологические работы. Это стало возможным благодаря международному датско-российско-украинскому проекту «Северное Причерноморье в 1-м тысячелетии до н.э.: история человека и климатические изменения»; в осуществлении проекта участвуют Датский центр черноморских исследований, Институт истории материальной культуры РАН и Институт

озероведения РАН (Санкт-Петербург), Институт географии Национальной АН Украины. В рамках этого проекта нами исследовались соленые озера Западного Крыма — Сакское и Джарылгач.

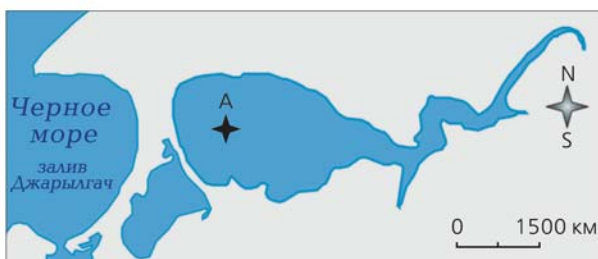
Ранее соленые крымские озера изучались в 20–30-х годах прошлого века (А.И.Дзенс-Литовский, В.Б.Шостакович и др.). Тогда помимо гидрохимических исследований были проведены бурение и анализ донных отложений. Однако несмотря на масштабный объем

© Субетто Д.А., Сапелко Т.В.,
Столба В.Ф., 2007



Местоположение исследованных разрезов:

А — оз.Джарылгач,
Б — оз.Саки.





Подготовка к отбору кернов донных отложений из оз.Саки. Плот на основе катамарана позволяет располагаться на нем четверем специалистам и буровому оборудованию.

Фото Т.В.Сапелко

работ, не все поставленные задачи удалось решить. Современное развитие науки позволило выполнить исследования на новом уровне.

После полевых работ на озерах Сакское и Джарылгач нами были проведены лабораторные исследования, причем многие анализы, а также радиоуглеродное датирование выполнялись на озерах Крыма впервые. Датирование осуществлялось в основном по раковинам моллюсков в радиоуглеродной лаборатории Института физики и астрономии г.Орхус (Дания). Комплекс анализов включал варвохронологический (по годичным слоям осадков), магнитостратиграфический, литологический, палинологический, остракодологический, диатомовый и др.

В обоих названных озерах были вскрыты отложения замкнутых и сильно минерализованных водоемов (озер), перекрывающие морские отложения. Для оз.Джарылгач кровля морских отложений датировается 5590—5350 календарных лет назад, для оз.Сакского — 5610—5340 календарных лет назад. Значит, к тому времени уже начали образовываться пересыпи, впоследствии полностью отде-

лившие эти бывшие заливы от моря. Полное обособление оз.Джарылгач произошло около 4700 лет назад, приблизительно на 500 лет позже, чем Сакского. Образование пересыпей связано скорее всего с активизацией абразионных процессов, происходивших в трансгрессивную фазу развития Черного моря. Надо отметить, что, по предположению А.И.Дзенс-Литовского, отделение соляных озер Крыма от моря произошло около 5 тыс. лет назад, а Д.Д.Квасов считал, что современный уровень Черного моря не сильно отличается от того, каким он был около 4 тыс. лет назад. За последние 2500 лет сформировалось 1.5 м донных отложений, т.е. скорость хемогенного накопления осадков снизилась по сравнению с предыдущим периодом, что может говорить об относительном уменьшении аридности климата. На это же указывают и данные спорово-пыльцевого анализа.

Интересные результаты дала реконструкция растительного покрова Западного Крыма. Выяснилось, что на первом этапе существования водоема на характер растительности влияли изменения уровня Черного моря, его трансгрессивные и рег-

рессивные фазы, а также колебания солености. Анализ остракодов (ракушковых из класса ракообразных) позволил сделать вывод, что это было время существования морских заливов, а затем отделившихся лагун. В период морской трансгрессии почвы засолялись, и растительность приобретала галофитный и ксерофитный характер, а в некоторых районах степного Крыма у нее появлялись даже галофитно-пустынные и лугово-пустынные черты. Позже на составе растительности в основном отражалось изменение уровня влажности. Температурные колебания редко оказывали существенное влияние на состав растительного покрова и ландшафт. Здесь уже заметную роль в нарушении ландшафтов стал играть антропогенный фактор, не превышающий, однако, значения климатических факторов. Колебания уровня моря перестали сказываться на формировании растительного покрова, озеро окончательно отделилось от моря, климатические условия стали более континентальными. Наконец, на заключительном этапе развития окружающих ландшафтов можно, как и в настоящее время, к числу основных факторов, влияющих на изменение растительного покрова, отнести антропогенный.

Работа на озерах продолжается в надежде на поддержку российских и зарубежных научных фондов. Прошедшее в сентябре 2007 г. международное совещание в Геленджике «Черноморско-Средиземноморский коридор за последние 30 тыс. лет: изменения уровня моря и адаптация человека», в котором приняли участие многие специалисты по изучению Черного и Каспийского морей, показало перспективность наших исследований и большую заинтересованность ученых из причерноморских стран (таких как Турция, Болгария, Азербайджан, Украина) в совместном изучении лиманов и соленых озер на территории этих стран. ■

Беспокойная судьба древних окаменелостей

Посвящается 100-летию
со дня рождения И.А.Ефремова

А.Г.Сенников

Палеонтология замечательна тем, что позволяет заглянуть в далекое прошлое нашей планеты, познать историю жизни на Земле. Основные объекты исследования палеонтологов, как всем хорошо известно, — ископаемые, окаменелости, остатки организмов, сохранившиеся в слоях осадочных горных пород. Видя скелеты древних животных, выставленные в музее, далеко не каждый догадывается, какая длительная и кропотливая работа, требующая знаний, навыков, интуиции, была проделана для того, чтобы обнаружить, извлечь из вмещающей породы, отпрепарировать и реконструировать найденные ископаемые остатки.

Но еще меньшее число неспециалистов представляет, через какие перипетии прошли эти остатки, прежде чем попались на глаза ученым, какой сложный и длинный путь лежит между организмом, жившим в давно прошедшую эпоху, и окаменелостью, в которую он превратился.

Здесь пойдет речь о том, как по мельчайшим деталям окаменелостей и анализу вмещающих их пород можно расшифровать превратности судьбы ископаемых остатков. Но прежде придется коснуться тафономии* — раздела палеонтологии, в котором исследуются закономерности

* Термин происходит от греческих слов *ταφος* — могила, погребение — и *νομος* — закон.



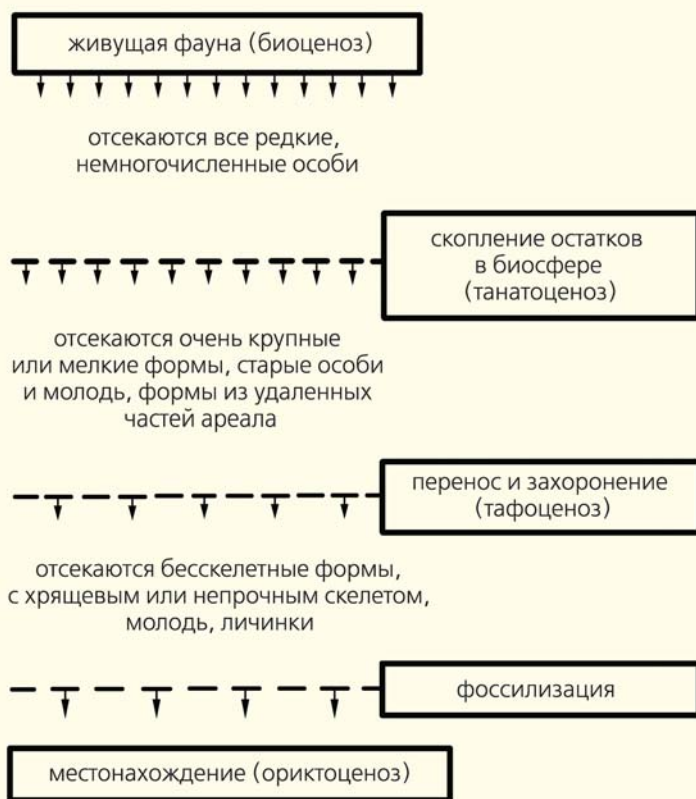
Андрей Герасимович Сенников, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Палеонтологического института РАН. Научные интересы связаны с палеогерпетологией, функциональной морфологией позвоночных, палеоэкологией, палеоихнологией и биостратиграфией.

сти захоронения организмов и образования местонахождений ископаемых остатков.

Немного о тафономии

Попытки вывести такие закономерности были предприняты в первой половине XX в. Однако основателем тафономии как самостоятельного раздела палеонтологии по праву считается

выдающийся отечественный палеонтолог Иван Антонович Ефремов (1907—1972). В фундаментальной монографии «Тафономия и геологическая летопись» (1950) он дал теоретическое обоснование нового научного направления, разработал цельную систему его понятий и закономерностей, а также метод тафономического анализа и классификацию местонахождений [1]. С тех пор тафономия



Схема, отражающая последовательность захоронения органических остатков и формирования ориктоценоза (по Ефремову И.А., 1950)

стала неотъемлемой частью палеонтологических исследований во всем мире [2, 3].

Используя тафономические закономерности, в том числе актуалистический метод, основанный на аналогии древних и современных событий, палеонтолог восстанавливает по остаткам ископаемых животных и растений (и по характеру вмещающих горных пород) процессы их захоронения и фоссилизации, формирования местонахождения.

Все эти процессы протекают в несколько стадий, образующих тафономический цикл. На каждой из них утрачивается часть морфологических структур организмов, постепенно сокращается общее число остатков, и в результате количествен-

ные и качественные соотношения комплекса ископаемых в местонахождении отражают состав древнего биоценоза весьма неполно и зачастую с искажениями. Иными словами, теряется и искажается первичная информация. Сохранение ископаемых остатков — довольно редкий случай.

Тафономический цикл начинается с танатоценоза — образования посмертных скоплений организмов. Затем происходят сортировка, перенос, разложение и захоронение остатков в ходе осадконакопления. Танатоценоз превращается в тафоценоз — комплекс ископаемых животных и растений, погребенных в рыхлом осадке и еще не окаменевших (не фоссилизированных). Захоронение, причем

достаточно быстрое, — одно из важнейших условий сохранности костей, так как осадки в значительной степени изолируют их от физического, химического и биологического разрушения. Этот процесс, как правило, протекает в бассейнах осадконакопления, чаще всего в донных осадках морских или континентальных водоемов (правда, известны и более редкие примеры захоронения: в эоловых песках, вечной мерзлоте и т.д.)

И танато-, и тафоценозы могут формироваться за счет переноса органических остатков, которые при этом разрушаются и сортируются. Если остатки захораниваются на месте обитания животных и растений, образуются автохтонные местонахождения, в них комплекс ископаемых довольно точно отражает состав исходного биоценоза. Такие местонахождения характерны для морских донных, особенно прикрепленных организмов, например для кораллов.

Автохтонные местонахождения формировались и континентальными организмами, но гораздо реже. Одно из них, Тихвинское, находится в Верхнем Поволжье. Богатейшее собрание остатков раннетриасовых животных и растений захоронено в том же озерном бассейне, где они обитали. По разнообразному таксономическому составу фауны и флоры можно предположить, что здесь почти полностью сохранился биотический комплекс озерного сообщества.

К автохтонному относится также и среднетриасовое местонахождение Бердянка-2. Там гигантские хищные амфибии, обитавшие в реке, скопились в луже, оставшейся в понижении дна во время засухи, а при пересыхании водоема погибли и были тут же захоронены в донных осадках. Примечательно, что сохранились почти целые скелеты амфибий. В более высоких слоях, в линзе бурого алевроита мощностью 20—30 см и площадью около 1×7 м², погребены ос-

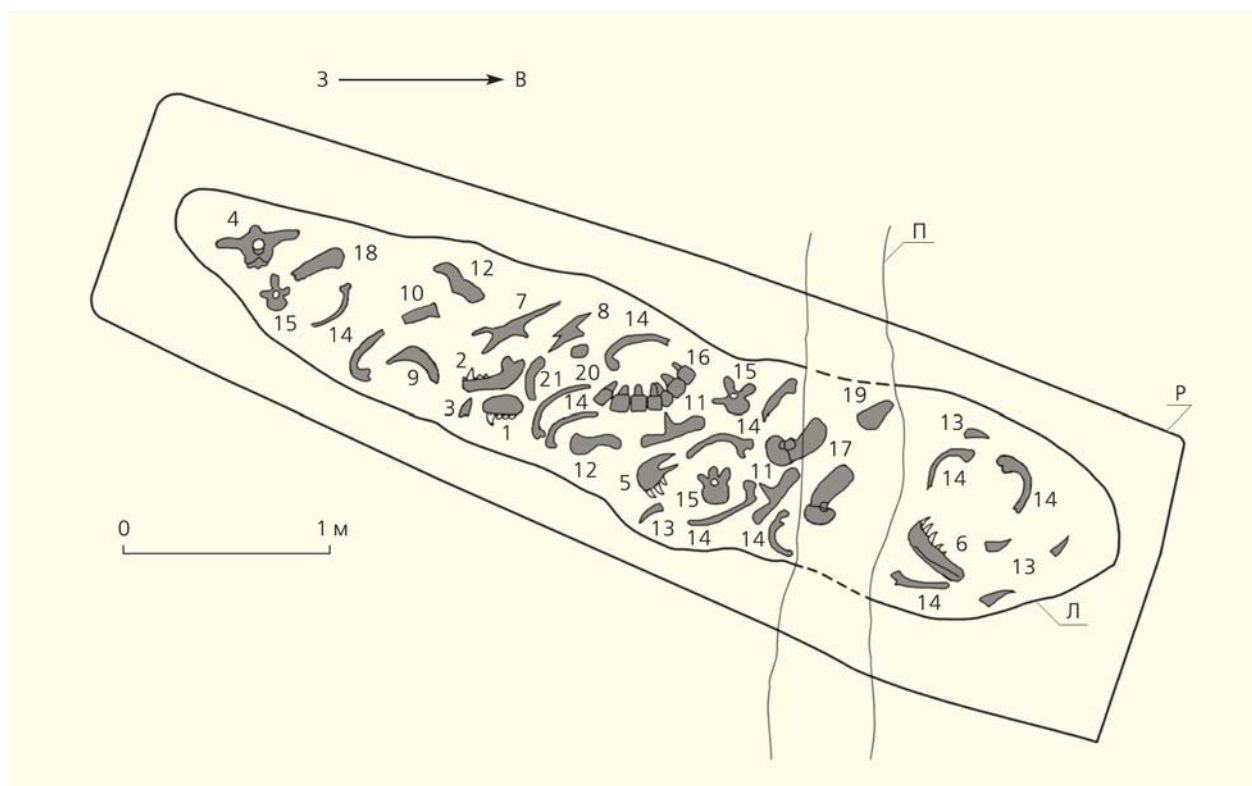


Схема автохтонного захоронения остатков позвоночных в местонахождении Бердянка-2. Л — контур костеносной линзы; Р — контур раскопа 1981—1983 гг.; П — узкая промоина, пересекающая линзу. Кости цинодонта (1—3): верхнечелюстная (1), зубная (2), зубы (3); кости текодонта (4—21): мозговая коробка (4), правая предчелюстная кость (5), правая зубная (6), левая крыловидная (7), левая небная (8), правая чешуйчатая (9), правая лобная (10), правая и левая скуловые кости (11), правая и левая квадратные (12), отдельные зубы (13), ребра (14), отдельные позвонки (15), сочлененные шейные позвонки (16), правая и левая лопаточные пластины (17), левая локтевая кость (18), левая подвздошная (19), левая заглазничная (20) и правая предсочленовная кость челюсти (21).

татки наземных рептилий — цинодонта *Neotrirachodon* и текодонта *Sarmatosuchus* [4]. Линза представляет собой отложения во впадине, образовавшейся на дне пересохшей временной протоки на прирусловой отмели. Кости текодонта хрупкие, с разрушенной, расслаивающейся поверхностью, самые мелкие даже рассыпаются в прах, и все они принадлежат одной особи. После гибели текодонта труп постепенно разложился на песчаной отмели рядом с понижением, куда потом были снесены водой (в дождливый сезон или во время паводка) и беспорядочно захоронены уже разрозненные кости. Только шейные позвонки остались сочлененными благодаря сохранившимся сухожилиям и связкам, их со-

единявшим. Связки, вероятно, высохли (мумифицировались) еще в то время, когда труп лежал на суше, и зафиксировали по смертную позу. В этой же линзе находятся отдельные зубы, верхнечелюстная и зубная кости цинодонта, которые также после разрушения трупа на суше были снесены в углубление на дне протоки.

При дальнейшем переносе образуются аллохтонные местонахождения, в которых смешаны остатки организмов из разных биоценозов. Такова Донская Лука в Волгоградской области: в прибрежно-морских раннетриасовых отложениях захоронены разрозненные скелетные фрагменты позвоночных — как наземных, вынесенных с суши речным потоком, так и морских.

На следующей стадии тафономического цикла остатки животных и растений фоссилизуются, превращаются в окаменелости в процессе уплотнения и преобразования рыхлого осадка в горную породу. Тафоценоз переходит в ориктоценоз — комплекс окаменелых органических остатков.

Если участок суши испытывает поднятие, слои осадочных пород с окаменевшими остатками размываются и обнажаются на дневной поверхности, вплоть до полного их разрушения.

Когда реконструирован наиболее вероятный вариант образования местонахождения, наступает очередь другой важной задачи тафономии — восстановления предположительного состава древнего биоценоза по



Схема переноса и дифференциации остатков наземных позвоночных в крупном речном потоке (по Ефремову И.А., 1950).

ориктоценозу. Зная закономерности захоронения и утраты информации, можно достроить недостающее, вычленив компоненты разных древних биоценозов, смешанные в ориктоценозе, и реконструировать условия обитания организмов.

К сожалению, ископаемые остатки не всегда находятся в тех породах, где они оказались уже окаменелыми. В некоторых случаях спустя много времени происходит переотложение, которое обычно сопровождается переносом и может быть многократным. Полнее всего изучено

переотложение окаменелостей из стратиграфически более древних пород в молодые: из одной зоны или свиты в другую, из разных систем и даже эратем. Из-за таких событий возможны ошибки в оценке возраста пород, в определении биотического состава и т.д. Яркий пример — кости поздне меловых динозавров, найденные в палеоценовых толщах. Именно этот случай иногда рассматривался как доказательство того, что некоторые динозавры пережили массовое вымирание на рубеже мезозоя и кайнозоя. Еще более

близкий пример — находки по берегам рек в Центральной России окремневших кораллов, раковин брахиопод, члеников морских лилий и остатков других морских беспозвоночных каменноугольного возраста. Сначала они были перенесены ледником и захоронены десятки тысяч лет назад в моренных суглинках, а затем вымыты речными водами и теперь оказались среди камней на речном пляже.

Но бывают переотложения окаменелостей практически одновременные в геологическом масштабе времени с повторным захоронением в пределах одного и того же, причем наиболее мелкого (различимого по относительному возрасту) стратиграфического подразделения. Примеры с аммонитом из местонахождения Пески и нижней челюстью лабиринтодонта из Каменного Дола, приведенные в следующих главах, демонстрируют именно такой тип переотложения.

Случай с аммонитом

На юго-востоке Московской обл. находится уникальное местонахождение Пески, которое знаменито находками остатков среднеюрских растений и животных. Расположенное в карьере Песковского комбината стройматериалов, оно с 1990-х годов привлекает внимание палеонтологов [5, 6]. Нижние уступы карьера сложены среднекаменноугольными карбонатными породами — известняками, мергелями и доломитами. Эти отложения теплого мелководного моря, затопившего в каменноугольный период центр теперешней Европейской России, содержат многочисленные и разнообразные остатки морских беспозвоночных. В верхней части отложений имеются карстовые полости и расселины, заполненные серыми и черными глинами, алевритами и песками, где найдена богатая и разнообразная континенталь-



Среднеюрское местонахождение Пески.

Фото автора



Внешний вид разных аммонитов (реконструкция) и схема строения одного из аммонитов (справа). Эти головоногие моллюски, известные с девона до конца мела, обитали во всех морях. На верхнем рисунке изображен экземпляр с приросшими к раковине усоногими рачками (по Друщицу и Зевиной, 1969), а на рисунке из экспозиции Палеонтологического музея показана форма с крышечкой, которой при необходимости прикрывалось устье жилой камеры. На продольном разрезе видны наружный оборот жилой камеры, где помещалось тело моллюска, и внутренние обороты гидростатических (воздушных) камер, разделенных поперечными перегородками.

ная фауна и флора среднеюрского (батского) времени. Выше, с размывом, залегает черная глинистая толща с многочисленными остатками аммонитов, белемнитов, двустворчатых моллюсков и других морских беспозвоночных. Эта толща тоже образовалась в мелководном море, вновь покрывшем территорию нынешнего Подмосковья в конце средней юры, в келловейский век. Для переработки на комбинате в карьере добываются среднекарбонные известняки, а перекрывающие их юрские морские отложения экскаваторами и бульдозерами срываются и сдвигаются в сторону, в отвалы.

Во время обследования карьера при очередном посещении Песков мое внимание привлек какой-то странный дискообразный предмет, вертикально выступавший на вершине отвала из черной глины. При ближайшем рассмотрении стало ясно, что это целая раковина головоногого моллюска — аммонита, сразу показавшаяся мне редким экземпляром. И действительно, то была почти целая, сжатая с боков, дискообразная раковина. В ней сохранилась даже жилая камера (что случается очень редко) с наружной, краевой частью, устьем. Для данного вида

аммонитов, *Platychamousetia funifera* [7], образец столь полной сохранности — первый и единственный не только в России, но и в мире. Несомненно, он заслуживает специального морфологического описания, однако это задача для специалистов по аммонитам. Меня же привлекли те особенности раковины, которые позволили восстановить процесс ее захоронения, как оказалось, первичного и вторичного.

Внимательно рассмотрев находку, я заметил, что от наружной раковины, включая кальцитовый фарфоровидный и арагонитовый перламутровый слои, почти ничего не осталось. У меня в руках фактически было ядро — слепок из серого оолитового мергеля, заполнившего когда-то внутренность раковины. Ядро хорошо отображало форму и самой раковины, и жилой камеры с устьем. Его тоже заполняла порода, которая была неровно сколота по нескольким плоскостям. На поверхности ядра хорошо различались лопастные линии (рисунком, образующий окончаниями внутренних межкамерных перегородок в том месте, где они соединяются со стенками раковины). С левой стороны раковина сохранилась лучше, чем с правой — там

ее поверхность сильно разрушена и стерта. Жилую камеру отделял от предыдущих воздушных, или гидростатических, разрыв: он начинался от внутреннего края последнего оборота (и был здесь самым узким), проходил по его середине с обеих сторон раковины и расширялся к ее наружному краю. Жилая камера в поперечном сечении была несколько больше, чем гидростатические, из-за разрыва по килю, раздвинувшего правую и левую половины. Все полосы разрывов, заполненные породой, соединялись на наружном крае. Небольшой участок поверхности гидростатических камер у внутренней стороны оборота раковины оказался проломанным и немного вдавленным внутрь.

На жилой камере слева и снизу хорошо просматривались приросшие известковые трубочки сидячих червей — серпул (*Serpula* sp.). (В настоящее время такие черви селятся только на твердом субстрате — камнях, скалах или на раковинах морских беспозвоночных, иногда живых моллюсков — и строят известковые домики в виде извилистых трубок.) Трубочки на левой стороне были почти целыми, а снизу, у киля сильно разрушены и обломаны, но ориен-



Раковина аммонита *Platychamoussetia funifera*, найденная в Песковском карьере. На левой стороне (1), где поверхность раковины сохранилась лучше, видна гладкая жилая камера, отделенная трещиной, заполненной серым мергелем, от предыдущих гидростатических с извилистыми, тонко изрезанными лопастыми линиями (межкамерными перегородками). Устье раковины тоже заполнено серым мергелем. На поверхности ядра и на породе сохранились трубочки серпул. С правой стороны (2) ядро сильнее окатано и его поверхность частично разрушена. Плохо сохранившиеся, почти совсем разрушенные трубочки серпул на этой стороне можно видеть только внизу, у киля. Спереди (3) выдается выступающий из устья мергель и резко очерчен киль.

Фото Е.А.Сенниковой

тированы одинаково — вперед и вниз к наружной части оборота раковины, а несколько штук изгибались и пересекали киль. Но самое интересное — одна из трубочек прикреплялась к плоской поверхности породы, заполнившей устье, а многие другие — к мергелю в полосе разрыва по килю! Такое расположение домиков говорит о том, что серпулы, скорее всего, приросли не к раковине живого аммонита, а к уже окаменелому ядру.

Как можно представить историю захоронения раковины, используя признаки сохранности (деформации и окатанности) ее самой и трубочек червей, а также закономерности тафономии? Судя по характеру глинисто-мергелистой толщи в Песковском карьере и наличию в ней остатков типичных морских беспозвоночных, на этом

месте в келловейский век было теплое мелководное море, в толще которого обитал аммонит. Сразу после смерти он оказался в мягком илистом карбонатном осадке на дне, благодаря чему его раковина осталась в сохранности. Когда разложились мягкие ткани моллюска, пластичный и, возможно, текучий илистый осадок заполнил внутренние полости раковины. По прошествии довольно значительного времени слой с раковиной был перекрыт новыми морскими отложениями, а осадок, в котором она находилась, начал уплотняться и затвердевать. Карбонатный ил в жилой камере при затвердении оторвал ее от следующих за ней гидростатических камер, она лопнула пополам по килю, и половинки раздвинулись. Все образовавшиеся щели заполнились еще плас-

тичным осадком, скрепившим разошедшиеся куски. Гидростатические камеры, вероятно, не так плотно заполнились осадком, как жилая камера, и потому не подверглись разрыву. Дальнейшее накопление и уплотнение осадочных отложений привели к боковому сдавливанию раковины, в результате чего небольшой участок поверхности гидростатических камер у внутренней стороны оборота был проломан и слегка вдавлен внутрь. Наконец, илистый осадок превратился в твердую горную породу — оолитовый мергель. Раковина аммонита стала окаменелостью, заключенной в нем, сохранив при этом свою первоначальную форму. Однако под воздействием подземных вод, циркулировавших в слоях келловейских морских отложений, раковина



Известковые трубочки серпул: на поверхности жилой камеры с левой стороны (1, 2), на мергеле, заполнившем устье раковины (3), на нижней части жилой камеры и на породе в месте разрыва кия (4). На первых трех фотографиях видны хорошо сохранившиеся домики червей, а на последней — частично или сильно разрушенные. Именно прикрепление серпул к породе свидетельствует о том, что черви приросли не к раковине живого аммонита, а к уже окаменелому ядру.

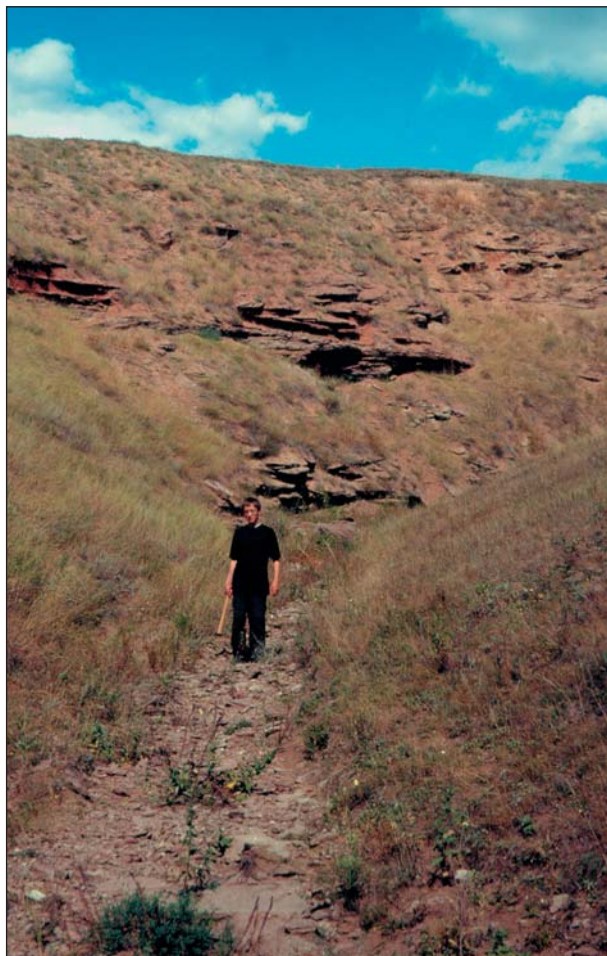
Фото Е.А.Сенниковой

моллюска почти полностью растворилась, сохранилось лишь ядро — ее слепок.

Когда мелководная часть морского бассейна еще больше обмелела (возможно, из-за некоторого поднятия дна), осадконакопление сменилось абразией — разрушением и размывом осадков и горных пород. Отложения над слоем с раковиной аммонита были размывы и сам он тоже подвергся абразии, видимо, под воздействием волн или донных течений. Так окаменелая раковина, вымытая из слоя, оказалась на поверхности донного осадка. К левой стороне ядра, очевидно, обращенной вверх, как к камню,

приросли серпулы, причем одна из них — прямо к поверхности породы, заполнявшей устье. Затем ядро раковины, вероятно, перевернулось правой стороной вверх, о чем можно судить по направлению роста трубочек на ядре — с левой стороны на правую. Поверхность ядра, лежавшего на мелководье, постепенно разрушалась, особенно пострадала правая сторона. Некоторые трубочки серпул также обломались, другие полностью стерлись. Когда осадконакопление возобновилось, окаменелость вновь оказалась погребенной, причем в тех же келловейских морских отложениях.

Такой вырисовывается последовательность событий, приведших к захоронению и перезахоронению слепка аммонита, жившего в позднем келловее — примерно 170 млн лет назад. В геологическом масштабе времени и первичное, и повторное захоронения произошли практически одновременно (как говорят специалисты, стратиграфически синхронно): ядро раковины оказалось в том же наиболее мелком стратиграфическом подразделении верхнего келловоя — зоне аммонита *Quenstedtoceras lamberti* (он служит руководящим организмом в определении относительного возраста пород).



Нижнетриасовое местонахождение Каменный дол, Самарская обл.

Фото автора



Передняя часть нижней челюсти лабиринтодонта *Benthosuchus* sp., ее правой ветви (местонахождение Каменный дол): образец в породе (вид сверху) и уже отпрепарированный (вид с боков).

Фото Е.А.Сенниковой

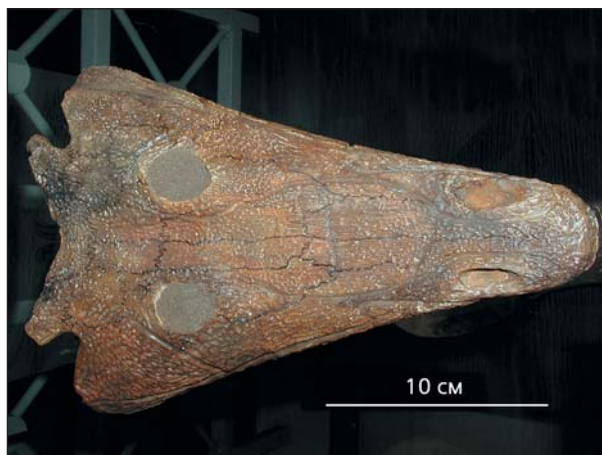
Короткое путешествие челюсти

Перезахоронение известно также в триасовых континентальных отложениях на востоке Самарской области, где открыто несколько местонахождений древних позвоночных. В долине р.Таволжанки находится одно из них — Каменный дол. Здесь в косослоистых песках и конгломератах старицкой свиты (нижний триас) руслового (аллювиального) происхождения попадают кости и черепа рыб, амфибий и рептилий. По сухому руслу оврага обнажаются две пачки косослоистых песков:

в нижней пачке они светлые, желтовато-серые, в верхней — кирпично- или вишнево-красные. В сероцветной пачке встречаются послойно залегающие конкреции (сложной, часто причудливой формы) светло-серого песчаника с карбонатным цементом. В основании красноцветной пачки можно наблюдать несогласное, с размывом, залегание базального слоя конгломерата с галькой сероцветных песчаников.

При внимательном рассмотрении обнаруживается, что конгломерат состоит из целиком сохранившихся, почти не окатанных конкреций нижней пач-

ки. Среди них есть сильно удлиненные, с отростками, состоящие из нескольких сросшихся частей, лишь изредка разломанных. Каких-либо органических остатков в этом конгломерате не обнаружено. Только в одной конкреции найдена кость хищного крокодилообразного земноводного — лабиринтодонта бентозуха (*Benthosuchus* sp., как определил И.В.Новиков). Это был прекрасно сохранившийся фрагмент нижней челюсти — передняя часть правой ветви; остались целы даже скульптура поверхности и самые мелкие и тонкие зубы. Лишь часть конкреции оказалась разрушенной



Редкая удача охотника за ископаемыми — череп лабиринтодонта *Wetlugasaurus*. Этот череп, в котором не хватает только передней носовой части, найден в нижнетриасовых конгломератах (местонахождение Алексеевка, Самарская обл.). Справа показан музейный экспонат — целый череп бентозуха.

Фото автора

при современном размыве слоя конгломерата водным потоком во время таяния снегов.

Найдена ли кость лабиринтодонта в месте ее первичного захоронения или она перезахоронена в той конкреции, в которую была заключена?

Попробуем воссоздать местные условия, в которых существовали раннетриасовые бентозухи, и процесс захоронения найденного челюстного фрагмента. Подсказками послужат характер вмещающих толщ и сохранности кости. Ясно, что эти амфибии обитали в большой реке, протекавшей по обширной предгорной равнине, и, будучи, как и другие триасовые лабиринтодонты, преимущественно водными животными, не могли надолго выходить на сушу. Бентозухи питались в основном рыбой, но, наверное, добывали также и других лабиринтодонтов, особенно их молодь и личинок.

Когда животное погибало, его труп, вероятно, уносило вод-

ным потоком от места гибели, при этом тело разлагалось и скелет распадался на части. Как известно, при таком переносе костные остатки позвоночных сортируются и рассеиваются: первым отделяется, падает на дно и погребается в отложениях большой и тяжелый череп и нижняя челюсть [1]. Каменнодольский фрагмент нижней челюсти, судя по прекрасной сохранности, «пропутешествовал» относительно недалеко и довольно быстро погрузился в русловые косослоистые песчаные осадки на дне триасовой реки. По прошествии немалого времени они были перекрыты новыми аллювиальными отложениями, а песчаный слой с фрагментом челюсти уплотнился и превратился в горную породу — плотный косослоистый песок. Карбонатные растворы, циркулировавшие в толще осадка, способствовали образованию твердой и прочной удлиненной конкреции светло-серого песчаника с кар-

бонатным цементом. Челюстной фрагмент, уже фоссилизированный, стал окаменелостью, заключенной в горной породе, сохранив при этом первоначальную форму, т.е. не подвергшись деформации.

Со временем изменились условия в долине триасовой реки — погружение, сопряженное с осадконакоплением, сменилось небольшим временным поднятием. Блуждающие по обширной предгорной равнине русла рек и временные потоки смывали накопившиеся здесь отложения. Верхняя часть сероцветного песчаного слоя с конкрециями также подверглась размыву. Песчаный материал оказался смытым, его унесло течением, а большое количество конкреций плотного серого песчаника было вымыто из вмещающего слоя. Быстро, почти без переноса, без заметных следов эрозии, окатывания и разрушения, конкреции попали на дно потока. В результате обра-

зовался базальный горизонт верхней красноцветной песчаной пачки, состоящий из почти не окатанных конкреций округлой или сложной формы. Очевидно, что этот горизонт при последующем погружении местного участка суши и возобновлении прерванного осадконакопления был быстро перекрыт новыми слоями песка. Защищенный плотной конкрецией, совершенно не поврежденный фрагмент челюсти лабиринтодонта оказался вторично захороненным в этом базальном слое.

Это еще один пример повторного захоронения окаменелости, произошедшего почти одновременно с первичным в геологическом масштабе времени. Фрагмент челюсти бентозуха, как и ядро аммонита, попал в отложения того же относительного возраста с тем же биотическим комплексом, где превратился в окаменелость. Сейчас это стратиграфическое подразделение называют старицкой свитой рыбинского горизонта.

Поскольку в обоих случаях переотложение происходило сходным образом, то, видимо, ход процессов определялся одними и теми же тафономическими закономерностями. Если бы оно происходило спустя долгое (по геологическим масштабам) время после первичного захоронения, это отразилось бы в разновозрастности вмещающих пород и самих окаменелостей.

Конечно, первичное и вторичное захоронения всегда отделены каким-то временным промежутком, и это выражается в нарушении нескольких циклов осадконакопления и эрозии отложений — последовательности геологических тел (слоев, пачек, ритмов). Поэтому и такие переотложения могут привести к искажению в картине генезиса местонахождения, к смешению комплексов из разных биоценозов, к ошибкам в реконструкции условий обитания древних организмов и т.д.

* * *

Приведенные примеры показывают, какие непростые за-

гадки задают ископаемые животные, как сложно расшифровать историю их захоронения (и перезахоронения). Палеонтологам и геологам, особенно во время полевых работ, необходимо обращать внимание на признаки возможного переотложения остатков древних организмов. По таким признакам можно понять, обычные ли это ископаемые, спокойно пролежавшие в слоях осадочных пород с момента их захоронения, или переотложенные, обреченные на беспокойную судьбу — перемещения с места на место, из слоя в слой под воздействием сложных геологических процессов, как аммонит из Песков или челюсть лабиринтодонта из Каменного Дола. Знание тафономических закономерностей позволяет детально восстановить условия захоронения органических остатков и образования их местонахождений, избежать ошибок в реконструкции структуры древних сообществ животных и растений, в определении возраста вмещающих осадочных пород. ■

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 04-05-64741, 05-05-65146, 07-05-00069), грантом президента РФ для Ведущей научной школы (НШ-6228.2006.4), комплексной программой №18 Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы. Подпрограмма II», Американским палеонтологическим обществом (PalSIRP-Sepkoski grant, Project RX0-1337(1)-XX-21 – 2003).

Литература

1. *Ефремов И.А.* Тафономия и геологическая летопись. (Тр. Палеонтологического института АН СССР. Т.24.) М.; Л., 1950.
2. *Очев В.Г., Янин Б.Т., Барсков И.С.* Методическое руководство по тафономии позвоночных организмов. М., 1994.
3. *Янин Б.Т.* Основы тафономии. М., 1983.
4. *Сенников А.Г.* // Доклады АН. 1994. Т.336. №5. С.659—661.
5. *Алексеев А.С., Агаджанян А.К., Арешин А.В. и др.* // Докл. АН. 2001. Т.377. №3. С.359—362.
6. *Алифанов В.Р., Сенников А.Г.* // Докл. АН. 2001. Т.376. №1. С.73—75.
7. *Mitta V.V.* // Paleontological Journal. 2005. V.39. Suppl.5. P.629—644.

Новости науки

Астрофизика

Звезда с хвостом

На протяжении многих веков кометы считались хвостатыми звездами. И хотя теперь это обозначение ушло в область астрономического фольклора, на смену ему приходит информация о том, что и у настоящих звезд тоже могут быть хвосты. Американские ученые с помощью принадлежащего НАСА космического телескопа GALEX (Galaxy Evolution Explorer — исследователь эволюции галактик) обнаружили у звезды Мира в созвездии Кита длинный хвост, похожий на кометный. Мира (в переводе с латыни «удивительная») — излюбленный объект для астрономических наблюдений на протяжении уже 400 лет, но столь странная особенность у нее замечена впервые.

Может показаться необычным, что для обнаружения хвостатой звезды понадобился «Исследователь эволюции галактик». Однако все объясняется просто. К.Мартин (Ch.Martin; Калифорнийский технологический институт, США) и его коллеги строят с помощью телескопа GALEX карту неба в дальнем ультрафиолетовом диапазоне. Просматривая снимки, ученые заметили слабую «пушистость» Мира и решили изучить ее поглубже.

При тщательной проверке «пушистость» оказалась газовым хвостом, протянувшимся по небу на 2°, т.е. четыре диаметра Луны. Учитывая, что Мира удалена от нас на 350 св. лет, реальная длина ее хвоста равна 13 св. годам. По сравнению с подобными ей звездами Мира движется необычно быстро, возможно, благодаря гравитационному взаимодействию с други-

ми светилами. Сейчас она летит со скоростью 130 км/с, и протяженность ее хвоста соответствует расстоянию, которое звезда преодолевает за 30 тыс. лет.

Мира примерно в полтора раза массивнее Солнца. Миллиарды лет назад она была похожа на нашу звезду, но потом начала раздуваться и превратилась в пульсирующий, разбухший красный гигант. Периодически яркость Мира возрастает настолько, что ее можно видеть невооруженным глазом. Подобно всем долгопериодическим переменным, «удивительная» звезда выбрасывает в пространство огромное количество вещества: около одной массы Земли каждые восемь лет. По мере того как Мира несется по Галактике, за ней остается след из углерода, кислорода и других элементов. По этому следу, как по магнитофонной записи, можно восстановить хронологию потери массы звезды за последние 300 веков и узнать в конечном итоге, как стареют звезды, похожие на Солнце.

Хвост уширяется и становится ярче в положениях, которые соответствуют примерно 10, 20 и 30 тыс. лет назад. Это предполагает наличие долгопериодических изменений в интенсивности звездного ветра Мира и согласуется с теоретическими моделями, которые предсказывают для звезд типа Мира эпизодические «тепловые вспышки». Правда, согласно моделям, интервалы между этими вспышками должны существенно превышать 10 тыс. лет, поэтому «узелки» на хвосте могут иметь и другую природу, например быть связаны с крупномасштабной турбулентностью или вариациями плотности в межзвездной среде.

Кроме хвоста на снимках у Мира обнаружены головная ударная

волна и некое подобие кильватерного следа. Вероятно, именно ударная волна нагревает газ до такой высокой температуры, что его удастся наблюдать только в ультрафиолетовом диапазоне. Это, кстати, объясняет, почему хвост Мира не виден в другие телескопы и был обнаружен только с помощью GALEX, чувствительного к коротковолновой области спектра.

Nature. 2007. V.448. №7155. P.780 (Великобритания).

Физика

Пленки из углеродных нанотрубок защищают от СВЧ-излучения

Углеродные нанотрубки — подходящий материал для покрытий, защищающих живые объекты и электронные устройства от СВЧ-излучения. Их экранирующие свойства обусловлены хорошей проводимостью нанотрубок, а удобство использования в данном качестве — низким удельным весом и возможностью получения на их основе тонких прозрачных пленок, не меняющих внешний вид защищаемого объекта.

Недавно группа исследователей из университетов Калифорнии и Мэриленда (США) детально изучала экранирующие свойства пленок на основе однослойных нанотрубок¹. Пленку толщиной 30 нм с оптической прозрачностью 80% наносили на подложку из фторированного полиэтилена, затем на пленку помещали золотой контакт в виде диска. Излучение на образец подавали через коаксиальный кабель. Установка позволяла измерять комплексную проводимость пленки в диапазоне

¹ Xu H. et al. // Appl. Phys. Lett. 2007. V.90. P.183119.

частот от 10 МГц до 30 ГГц. Результаты эксперимента показали, что по своим защитным свойствам экраны на основе нанотрубок пригодны для многих сфер применения, в частности для защиты потребителя от излучения мобильного телефона.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2007. Т.14. Вып.12/13).

Ядерная физика

Открыт самый тяжелый изотоп кремния

Исследователи Университета штата Мичиган получили изотоп кремния с наибольшим числом нейтронов. Его атомный вес 44. Это открытие расширяет таблицу известных изотопов и позволяет продолжить исследования редких ядер, обогащенных нейтронами.

Если отношение числа нейтронов и протонов в ядре сильно отличается от единицы, такие ядра имеют малые периоды полураспада и избыточные нуклоны быстро покидают ядро. Выяснить, какое именно число избыточных нуклонов предельно возможно, оказалось очень трудной теоретической и экспериментальной проблемой, особенно относительно ядер, обогащенных нейтронами. Для большей части таблицы изотопов выяснено, где проходит граница неустойчивости в случае избытка протонов, но для избытка нейтронов она известна только для кислорода ($Z = 8$). Получение изотопов, лежащих на границе устойчивости для избытка нейтронов или вблизи нее, — по-прежнему одна из важных целей экспериментальной ядерной физики. Так, ^{43}Si впервые был обнаружен в японском Институте физических и химических исследований в 2002 г. В том же году во французской лаборатории GANIL были обнаружены обогащенные нейтронами изотопы ^{34}Ne и ^{37}Na .

В эксперименте по получению изотопа ^{44}Si в Университете штата Мичиган первичный пучок ионов ^{48}Ca ускорялся до энергии 142 МэВ и направлялся на вольфрамовую мишень; после прохождения ми-

шени пучок фильтровался через сепаратор осколков, и, наконец около 20 различных изотопов (в том числе три ядра ^{44}Si) было зарегистрировано детекторами, способными распознать каждый ион, попадающий в детектор.

Цель исследования состояла в изучении выхода изотопов, содержащих 28 нейтронов и лежащих в диапазоне между ^{48}Ca (ядра ионов исходного пучка) и ^{40}Mg . Изотоп ^{40}Mg еще предстоит получить, и, согласно некоторым теоретическим моделям, он должен лежать на границе устойчивости. Эти изотопы можно получить выбиванием из ^{48}Ca только протонов, но это нелегкая задача из-за большого числа нейтронов в ядрах первичного пучка. Получить ^{44}Si еще труднее, так как при соударении должен произойти также перенос двух нейтронов из вольфрамовой мишени в одно из ядер пучка, пролетающих сквозь мишень. Наблюдение ^{44}Si находится на пределе возможностей сепаратора осколков, разделяющего их в один этап. Большое число частиц, летящих вместе с редкими ядрами, может перегрузить детекторы, идентифицирующие пучок в сепараторе.

Ныне исследователи разрабатывают новые двухэтапные сепараторы, которые позволят проводить эксперименты с большой плотностью исходных пучков, что увеличит вероятность получить искомые ядра вблизи предела устойчивости.

CERN Courier. 2007. V.47. №7. P.7 (Швейцария).

Химия

Упрочнение полимеров нанотрубками

Углеродные нанотрубки, обладающие, как известно, рекордными механическими характеристиками, способны эффективно повысить прочность композитных полимерных материалов. Чтобы реализовать эту возможность, надо добиться максимальной передачи нагрузки от полимерного материала нанотрубке. Для этого не-

обходимо хорошее сопряжение между поверхностью трубок и полимерной матрицей (в противном случае нанотрубка, помещенная внутрь полимерного материала, не улучшит прочностные свойства композита — не исключено даже, что ухудшит). Нужно сопряжение можно реализовать, присоединив к поверхности нанотрубок соединения, образующие химическую связь с молекулами полимера.

В одной из лабораторий Шанхая (Китай) добились первых успехов в этом направлении¹. Коммерческие однослойные нанотрубки очищали концентрированной соляной кислотой. В качестве матрицы испытывали три полимера: полиаминофенилалкин, пленку полистирола, а также сополимер стирола с полихлорметилстиролом. Исследования, выполненные с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния и фурье-спектроскопии, показали, что между полимерной матрицей и поверхностью углеродных нанотрубок образуется прочная химическая связь (например, в случае изготовления образцов на основе полистирола она обусловлена присоединением хлорбензола). Итог испытаний таков: добавление 0.06% однослойных нанотрубок в пленку полистирола толщиной 70 мкм привело к увеличению прочности на разрыв с 10.8 до 19.7 Мпа и аналогичному изменению модуля упругости и предельного растяжения.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2007. Т.14. Вып.14/15).

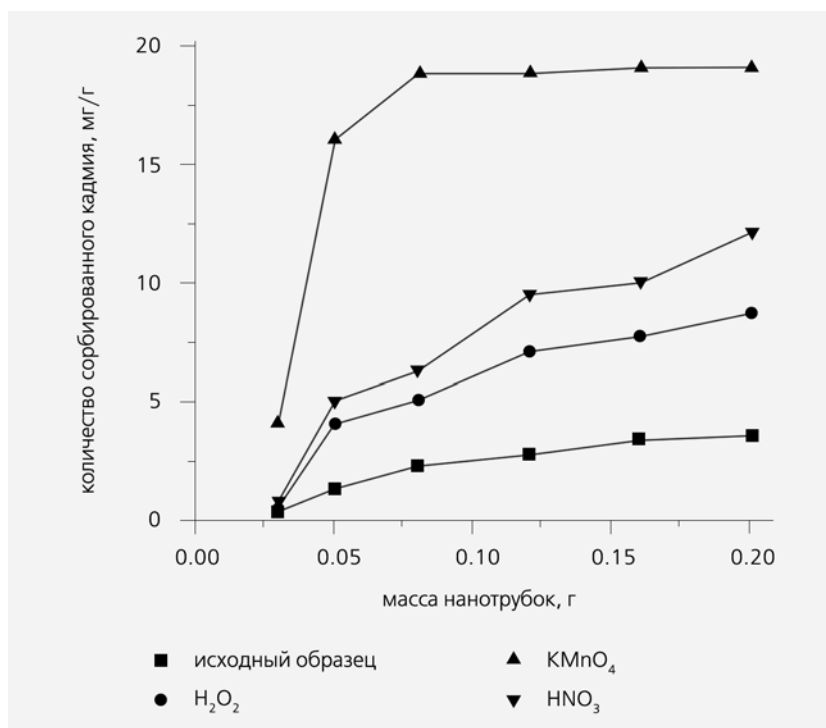
Химия. Экология

Углеродные нанотрубки для очистки сточных вод

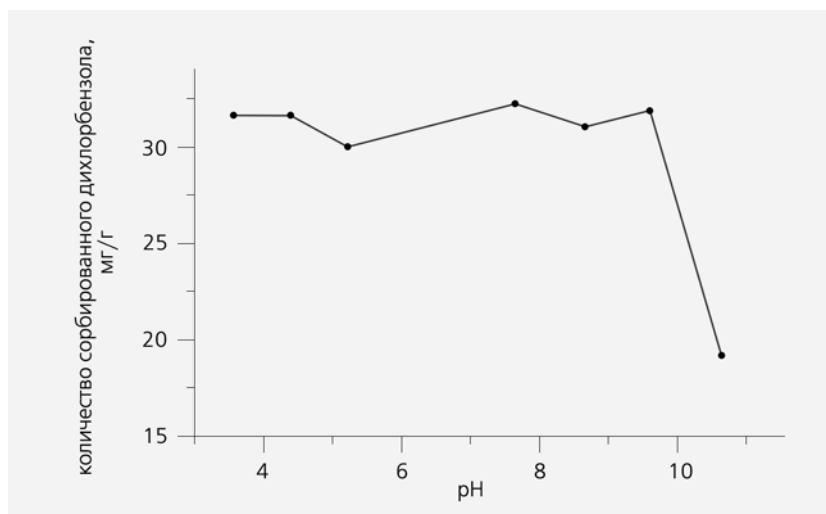
Как известно, углеродные нанотрубки обладают уникальными сорбционными характеристиками². Прежде всего это связано с их рекордно высокой удельной поверхностью (до 2600 см²/г). К то-

¹ Long X. et al. // *Macromolecules*. 2007. V.40. P.3296—3305.

² См., напр.: Углеродные нанотрубки удаляют из воды свинец // *Природа*. 2003. №2. С.82.



Зависимость количества сорбированного кадмия от массы образца углеродных нанотрубок для разных окислителей.



Зависимость количества сорбированного дихлорбензола от величины pH раствора.

му же благодаря значительному числу двойных углеродных связей в нанотрубках возникает возможность присоединения различных молекулярных комплексов, в том числе и с повышенными сорбционными свойствами. Следовательно, углеродные нанотрубки могут оказаться весьма перспективными

сорбентами для очистки сточных вод от вредных примесей, таких как тяжелые металлы и органические соединения.

Недавно группа исследователей из Ноттингемского университета (Великобритания) и Академии наук Китая детально исследовала способность трубок сорби-

ровать свинец и кадмий, а также дихлорбензол, наличие которых в сточных водах представляет значительную экологическую угрозу¹. Эксперимент проводили с четырьмя образцами многослойных трубок, полученных термокаталитическим методом с применением разных углеводородов в качестве источника углерода. После тонкого измельчения нанотрубки в течение часа промывали при температуре 140°C в концентрированной азотной кислоте, чтобы удалить примеси металлического катализатора. Для повышения сорбционных свойств нанотрубок по отношению к металлам испытывали действие трех окислителей — H_2O_2 , KMnO_4 и HNO_3 .

В раствор, содержащий загрязнитель, вводили некоторое количество нанотрубок. После фильтрации раствора количество сорбированного загрязнителя определяли методом атомной адсорбционной спектроскопии. Измерения показали сильную зависимость сорбционной способности трубок от типа окислителя и от величины pH раствора.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2007. Т.14. Вып.12/13).

Зоология

Яйца-болтуны у кожистой черепахи

Самка самой крупной из ныне живущих черепах — морской кожистой черепахи *Dermochelis coriacea* — откладывает в гнезда, вырытые на берегу, до 150 шаровидных яиц диаметром 5–6 см с эластичной скорлупой. Давно было замечено, что в верхней части такой колоссальной кладки находятся совсем небольшие яйца, в которых практически нет желтка. Самка откладывает их последними, и эти бесплодные яйца могут быть просто побочным результатом процесса формирования половых продуктов, отходами. Однако количество таких абортивных яиц бывает значительным: по данным специальных подсчетов, от 21 до 56.

¹ Li Y.H. et al. // J. Phys.: Conf. Series. 2007. V.61. P.698–702.

Возможную биологическую роль аномальных яиц в кладках кожистой черепахи исследовала во Французской Гвиане группа зоологов из Южного парижского университета¹. Между прочим, у берегов этой совсем небольшой южноамериканской страны размножается до 40% мировой популяции кожистой черепахи.

Ученые наблюдали за судьбой 99 гнезд, при этом регистрировали особенности их местоположения, воздействие хищников и вредителей, а после вылупления черепашат подсчитывали количество погибших и безжелтковых яиц. В целом вылупляемость нормальных яиц оказалась довольно низкой — 38.2%. В известной степени здесь сказалась роль хищных членистоногих, таких как крабы, муравьи, медведки, личинки мух.

Наиболее любопытный результат исследования состоял в том, что была выявлена положительная связь вылупляемости с количеством аномальных яиц: оказывается, чем больше в кладке безжелтковых яиц, тем выше вероятность вылупления детенышей из нормальных яиц. Французские исследователи предложили несколько объяснений такой закономерности: в процессе инкубации безжелтковые яйца постепенно высыхают, тем самым способствуя поддержанию более благоприятного гидрологического режима в гнезде, что особенно важно для засушливых мест; по мере дегидратации эти балластные яйца выделяют вещества, отпугивающие хищных личинок мух от развивающихся яиц; вредители проникают в гнезда черепах сверху и, естественно, в первую очередь поедают верхние яйца, а это — как раз безжелтковые. Вероятность же выживания развивающихся яиц в нижней части гнезда повышается.

Таким образом, впервые показана положительная биологическая роль безжелтковых яиц, ранее считавшихся побочным и ненужным продуктом процесса размножения кожистых черепах. Это об-

¹ Caut S., Guirlet E., Jouquet P., Girondot M. // Canadian J. Zoology (Канада). 2006. V.84. №6. P.908—915.

стоятельство необходимо учитывать в природоохранных проектах, связанных с переносом и искусственной инкубацией кладок данного вида.

© Семенов Д.В.,
кандидат биологических наук
Москва

Охрана природы

Метод идентификации леопарда

Из крупных кошек на Кавказе сохранился лишь леопард (*Panthera pardus*), да и то не более 30 особей, из них 10—20 — в Армении. До середины 19-го столетия зверь встречался в кавказских лесах, густых зарослях, труднодоступных и малоснежных скальных массивах, где он охотился на серну, безоарового козла, западнокавказского и дагестанского туров, козулю и кабана. С той поры леопард исчез во многих местах из-за истребления, недостатка животных, которыми питался, и изменения биотопов.

Скрытый образ жизни и чрезвычайная редкость затрудняют изучение хищника прямыми наблюдениями, и зоологи вынуждены судить о присутствии по косвенным признакам — следам, поскребам, экскрементам и т.д. На сухом и твердом грунте в горных биотопах Армении следы сохраняются плохо, а поскребы хищник оставляет только в период спаривания, чтобы обозначить границы своих владений. По экскрементам можно было бы не только распознать вид животного, но и определить его рацион, распространение, популяционную структуру, индивидуальный генетический и гормональный статус. Обо всех характеристиках можно судить визуально, а о двух последних — по биохимическому анализу (в частности, методом тонкослойной хроматографии, ТСХ) фекальных масс.

Н.Г.Хорозян и А.В.Абрамов (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург), А.Казон (Национальный университет г.Сальта, Аргентина) и А.Г.Малхасян (Министер-

ство охраны природы Республики Армения) применили ТСХ для изучения фекальных желчных кислот кавказского леопарда (*P.p.caucasicus*), обитающего в Армении. В местах сбора образцов встречаются европейская рысь и серый волк, поэтому тонкослойной хроматографией анализировались и их экскременты. Выяснилось, что у леопарда больше всего содержится дезоксихолевой и хенодезоксихолевой кислот и меньше дегидроохолевой. У рыси уровень первых двух кислот умеренный, а третьей — несколько больший. В экскрементах волка выявлено много неизвестной желчной кислоты и мало дезоксихолевой и дегидроохолевой. Следовательно, по преобладанию одной из желчных кислот эти хищники четко различались, в то время как по другим параметрам экскрементов (диаметру, массе) были одинаковы.

Судя по ТСХ-методу, наибольшее количество экскрементов леопарда приходится на участок Ньювади-Шванидзор (юг Армении) и два урочища Хосровского заповедника (север республики). Хищник обитает там постоянно, и именно эти участки следует определить как приоритетные для охраны леопарда.

Известия РАН. Сер.биологическая.2007.
№4. С.437—443.

Океанология

Ледовые течения на поверхности Антарктиды

Сотрудники двух престижных учреждений США в области океанографии — Скриппсовского океанографического института в Калифорнии и Обсерватории по изучению Земли им.Ламонта и Дорэрти при Колумбийском университете — пришли к заключению, что подледные озера Антарктиды дестабилизируют этот континент.

Ученые изучили уже открытые озера, которые клинообразно простираются между толщей льдов в несколько километров и скальным цоколем материка. Благодаря радиолокационному зондирова-

нию, проведенному с самолетов и спутников, сейчас обнаружено более 145 подледных озер. Некоторые из них представляют собой небольшие полости, заполненные водой, другие имеют площадь в 500 км², а крупнейшее из них — оз. Восток — занимает 14 тыс. км². Поразительным оказалось то, что эти озера взаимосвязаны, формируя целую сеть; даже удалось проследить переток воды между двумя полостями-резервуарами. Ученые высказали опасения по поводу поступления огромного объема пресных вод в океан; они заявили, что не могут представить себе столь динамичную среду, которая меняется на протяжении нескольких месяцев.

Однако самым удивительным стало доказательство существования «ледовых течений» на поверхности материка, которые представляют собой участки, перемещающиеся быстрее окружающего льда; они движутся в направлении к океану наподобие реки со спокойным течением. Наличие озер создает эффект смазки и облегчает скольжение ледникового покрова. На западе материка благодаря спутнику «Icesat» (НАСА) открыто ледовое течение длиной 50 км и шириной 1 км; оно перемещается к морю Росса с рекордной скоростью в 1 км/год. На востоке ледовый поток движется со скоростью 100 м/год.

Sciences et Avenir. 2007. №722. P.12 (Франция).

Морская геология

Формы нахождения молибдена, таллия и теллура в океане

На подводных горах океана широко распространены железомарганцевые корки, которые представляют собой перспективный вид твердых полезных ископаемых, так как обогащены рядом ценных металлов, включая молибден. В то же время они концентрируют и экологически вредные элементы, в том числе таллий и теллур. Содержание в железомарганцевых корках молибдена и таллия

в 100—120 раз, а теллура — более чем в 10 тыс. раз выше относительно среднего содержания этих элементов в осадочных породах. Выявить, в каких именно формах находятся названные элементы, достаточно актуально как в теоретическом, так и в прикладном плане для совершенствования методов обогащения и переработки таких руд.

Сотрудники Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Г. Н. Батулин), Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н. М. Федоровского (В. Т. Дубинчук, Л. А. Азарнова) и Научно-исследовательского института геофизики в Геленджике (М. Е. Мельников) исследовали формы нахождения молибдена, таллия и теллура в рудном материале одной из проб железомарганцевых корок, поднятых с Магеллановых гор в западной части Тихого океана в экспедициях судна «Геленджик». С помощью электронного микроскопа «Tesla BS-301» с микронной приставкой в исходных образцах и продуктах их кислотной обработки установлены ультрамикроскопические включения молибденита, оксида и хлорида таллия и оксида теллура. Предполагается, что образование молибденита связано с осаждением из океанской воды частиц органического вещества, создающих локальную восстановительную среду, а присутствие в корках хлорита таллия, а также оксидов таллия и теллура сопряжено с наличием аналогичных соединений в океанской воде. Таким образом, в железомарганцевых корках наряду с сорбированными формами названных микроэлементов присутствуют их собственные минеральные фазы.

Из проведенных расчетов следует, что для химического состава гидрогенных железомарганцевых корок и корреляций в целом характерна корреляция молибдена и таллия с марганцем, в то время как теллур больше тяготеет к железу.

Полученные авторами результаты показывают, что, вопреки

распространенному мнению, породообразующие минеральные фазы — это не единственный фактор, контролирующий распределение и поведение в железомарганцевых корках некоторых микроэлементов. В частности, молибден, таллий и теллур способны формировать собственные минеральные фазы, которые в различной степени ассоциируют с рудными компонентами корок.

Океанология. 2007. Т.47. №3. С.448—455 (Россия).

Гидрофизика

Динамика вод Черного моря

Интересные и важные показатели динамики вод в океанах и морях дают систематические исследования отдельных их слоев. Черное море вследствие существенной вертикальной стратификации привлекает особое внимание. В его различных районах с глубинами 70—1758 м достаточно подробно был исследован придонный пограничный слой. В. М. Кушнир (Морской гидрофизический институт Национальной АН Украины) экспериментально изучал турбулентную диффузию и потоки в придонном пограничном слое. На 14 вертикальных профилях с помощью новейшей аппаратуры установлено разнообразие придонных течений, полей температуры, солености и плотности. Измеренные скорости придонных течений оказались вполне соответствующими расчетным.

Толщина пограничного слоя тесно связана со скоростью течений у дна. Сопоставив экспериментальные данные с результатами гидродинамического моделирования, автор получил оценки коэффициентов турбулентности и диффузии в придонном слое. В итоге установлено соответствие измеренных и расчетных результатов с существующей информацией о геотермальных потоках тепла, характерных для Черного моря.

Океанология. 2007. Т.47. №1. С.39—48 (Россия).

Раскопки на Подоле Боровицкого холма

Археологические исследования в Москве проводятся уже не один десяток лет. Но, несмотря на это, даже Кремль — древнейший район столицы России — изучен далеко не полностью.

В 2007 г. у археологов музея-заповедника «Московский Кремль» и Института археологии РАН появилась возможность провести раскопки на Подоле Боровицкого холма, недалеко от Москворецкой (бывшей Беклемишевской) башни. Предваряя строительные работы на одном из участков низкого берега р.Москвы площадью 640 м², исследователи начали раскопки, имея лишь общие представления о мощности культурного слоя в этом районе (9—11 м). Впервые в Кремле раскопки проводились на столь значительной площади, впервые объектом изучения стал Подол Боровицкого холма.

Учитывая геологическое строение холма и его округи, историки до сих пор считали, что активное освоение Подола началось не ранее второй половины XIV в., когда при великом князе Дмитрие Ивановиче (будущем Донском) были возведены на берегу Москвы-реки белокаменные стены и башни. Новая каменная крепость защитила низкий берег от разливов реки и дала возможность обживать его.

Именно со второй половины 14-го столетия в русских летописях и духовных грамотах московских князей упоминаются на Подоле, при описании городских событий, подворья коломенского епископа и Николо-Угрешского монастыря, церковь Константина и Елены и двор Беклемишевых, владения рода серпуховских князей и дворы священнослужителей, церковь Петра митрополита, житные дворы великих княгинь и дру-

гие объекты кремлевской топографии. Изображения некоторых из них сохранились на старых планах Кремля. Жаль только, что самые ранние из планов относятся лишь к началу XVII в.

Ну а что размещалось на Подоле в более раннее время, могла показать только археология. И глазам археологов открылась при раскопках очень яркая и богатая событиями жизнь этого района Кремля.

В процессе работ выяснился сложный рельеф поймы р.Москвы с намытыми ее водами прирусловыми валами, а также значительная влажность грунтов. Даже в XVII в. жителям этого района пришлось прокладывать деревянные трубы для отвода влаги. Одна из них попала в площадь раскопа и пересекла его с севера на юг. Непростой рельеф места и грунтовые воды заставили первых жителей Подола в конце XIII — начале XIV в. засыпать влажные и неудобные участки; только после этого можно было строить здесь жилые дома и хозяйственные сооружения, прокладывать улицы.

В площади раскопа под слоем строительных остатков XVIII-XX вв. проявился культурный слой 17-го столетия. С этого уровня и до материка (природного слоя, на который люди пришли и где начали жить) археологам удалось выявить и зафиксировать остатки более сотни жилых и подсобных построек, частоколов и мощений. От большинства жилых домов здесь сохранились только подклеты (подвалы), сами же дома погибли в пожарах — биче любого русского города в Средневековье. В некоторых подвалах были видны остатки лестниц, найдены разные бытовые вещи, бочки для припасов и солений (в одной из них обнаружили два грибочка!).

Среди предметов, которыми пользовались древние москвичи, были обнаружены железные ключи и замки, ножи и деревянные ложки, кожаные сумки и чехлы

для топоров и ложек, шахматные фигуры из дерева и рога, нательные крестики, осколки стеклянной посуды западноевропейского производства, оловянная ганзейская (немецкая) кружка, перстни и колечки из металла и стекла, белокаменные ядра и печные изразцы, рыболовные крючки и глиняные грузила для сетей, медные и серебряные монеты, стеклянные вставки в перстни и часть ювелирного тигля для плавки цветных и драгоценных металлов, щипцы ювелира и глиняные игрушки (фигурки коней и медведей, птичек-свистулк), кожаные туфли и сапоги (не только их детали, но и целые формы), красиво орнаментированные кожаные ножны, деревянные колотушки, днища бочек, мутовки для сбивания масла (их форма не изменилась до сих пор!) и многое другое — всего не перечесать!

Сегодня, когда раскопки только завершились, сложно дать точную оценку этим многочисленным вещевым находкам (более 3 тыс. индивидуальных предметов и более 100 тыс. фрагментов глиняной посуды и костей животных) и остаткам построек. Предстоит долгая работа по их изучению. Но уже сейчас можно наметить трассу улицы, шедшей по Подолу к одному из древнейших въездов на Боровицкий холм в районе Константино-Еленинской башни и представить, как изменялась застройка по ее сторонам на протяжении более четырех столетий. Со временем реконструкция топографии Подола в средневековый период, в том числе графическая и компьютерная, проиллюстрирует для всех любителей прошлого Москвы историю заселения и развития этого района Кремля, центром которого была древняя церковь Константина и Елены.

© Панова Т.Д.,

доктор исторических наук

Осипов Д.О.,

кандидат исторических наук

Москва

Одиссея Давида Арманда

М.Ю.Зубрева

Москва

На тропинке, соединяющей скиты о.Валаам, путника останавливает деревянный щит с надписью: «Ты пришел в гости к природе, так веди себя так, как полагается вести в гостях». Это цитата из «библии» природоохранного движения 60-х «Нам и внукам» Давида Львовича Арманда, приводится она и в сборнике, который коллеги, ученики и наследники выдающегося географа и общественного деятеля подготовили к его столетнему юбилею. Основу книги составляют материалы, прозвучавшие на Ученом совете Института географии РАН в апреле 2005 г., дополненные собранными позже свидетельствами. Получилось совсем не классическое юбилейно-биографическое издание, хотя и состоит из обычных для таких книг воспоминаний современников и разного рода документов. Большая часть страниц в ней читается как захватывающая повесть о жизни и творчестве самобытного ее героя. В то же время это и яркое повествование о времени, в которое он жил, и об истории нашей страны.

Редактор-составитель, тоже географ и сын Давида Львовича, А.Д.Арманд, разделил книгу на девять глав. Первая носит название «Дереву два века» и представляет собой рассказ о пяти поколениях семьи с французской фамилией Арманд, начало которой положил прапрапрадед Давида Львовича сапожник и роялист Поль Арманд, пришедший из Парижа в Москву в конце XVIII в. Его потомки со временем стали процветающими коммерсантами и фабрикантами, но к концу XIX в. среди

представителей молодого поколения семьи уже вовсю бродили революционные идеи. Отец Давида Львовича — Лев Эмильевич — вместе с двоюродными братьями в подполье родительской усадьбы под руководством гувернера Е.Камера изготавливали листовки с марксистскими лозунгами, которые в 1896 г. разбрасывали на армандовских же фабриках. Молодость помогла Льву избежать Петропавловской крепости, куда, правда ненадолго, были отправлены кузены. Гувернер, сосланный на каторгу, отбыл свой срок и был выслан за границу, где получил медицинское образование и впоследствии стал личным врачом Ленина. Самая известная в советское время представительница этой семьи, революционерка и соратница вождя мирового пролетариата Инесса Арманд, была замужем сначала за одним, а потом (после смерти первого мужа) за другим кузеном Льва Эмильевича. Благодаря уважительному отношению властей к Инессе довольно долго (до 90-х годов) сохранялось одно из имений Армандов под Москвой — Ельдигино, где много времени провел Дания — так в детские годы называли Д.Л.Арманда.

Его мать, Лидия Марьяновна Тумповская, из семьи петербургского детского врача, с юности тоже была полна революционными идеями и с гимназических времен вкусила прелесть царских тюрем. Опасаясь за ее будущее, родители отправили Лидию учиться в Германию, где она и встретилась во Фрайбурге с Львом Эмильевичем, посланным туда по той же причине. Однако ничто не помешало этой супружеской паре стать



РЫЦАРЬ СВЕТЛОГО ОБРАЗА. К столетию со дня рождения Давида Львовича Арманда (1905—1976). Редактор-составитель А.Д.Арманд.

М.: Институт географии РАН, НИИ-Природа, 2006. 170 с.

© Зубрева М.Ю., 2007

профессиональными революционерами.

Родившегося по старому стилю 1 апреля 1905 г. в Москве Даню ждала необычная жизнь. (Эти сведения уже из второй главы книги — «Начнем с трех революций»). На улицах баррикады и выстрелы, а в квартире родителей опорный пункт боевых отрядов, листовки, оружие, обыски. Потом спартанское мамино воспитание и неумное баловство Армандов-дедов и многочисленных тетюшек. Арест матери и ее высылка (по непонятной причине) за границу. Два года «кочевий» семьи по Европе.

После возвращения с 1912 г. Даня учится в гимназии Свентицкой на углу Большого Власьевского и Сивцево вражка, куда ездит на трамвае из Сокольников. Он еще и скаут. Знает, как вязать узлы и варить кашу в походе, всегда подвижен, деятелен, постоянно чем-то увлечен.

Новая глава «Восхождение» повествует о том, как после Октябрьской революции деятельная Лидия Марьяновна, чтобы готовить молодежь к новой жизни в будущем справедливом обществе, создает под Москвой школу нового типа — свободную трудовую воспитательную общину (официально она впоследствии числилась просто детским домом). Атмосфера здесь «семейная, любовная и радостная», но труд в поле совсем не детский, а школьная программа обычная. Мать — директор, второй «по грузу ответственности» сельхоз — сын, совсем не блестящий здоровьем, преподаватели приезжают из Москвы (добираться до Пушкино нелегко), работая, колонисты учатся круглый год. Удастся обеспечивать себя продовольствием лишь на уровне голодного минимума. Математик и поэт Даня все пять лет школы всех опережает в учебе. С помощью А.Н.Шараповой преуспевает в изучении сразу трех языков — английского, французского, немецкого, делая это в основном за работой, на-

пример вывешивая список новых слов на хвост лошади во время пахоты. На ходу выучивает и эсперанто, горячим поклонником которого становится на всю жизнь. Для него это не только средство общения, но и мечта о мирном сосуществовании между народами.

Это первое упоминание о Д.Л.Арманде-эсперантисте в книге. Впоследствии этому его увлечению международным языком посвящена целая глава «Разговор со всем миром». (Кстати сказать, эсперантистами были и другие видные географы — Н.Н.Баранский и С.В.Обручев.) Забегаю вперед, поскольку несколько строк в ней относятся непосредственно к моей работе. Арманд, признанный в мире эсперантист, набил много шишек, пробивая дорогу этому языку в своей стране. Так, статья о применении эсперанто в географии в одном из научных журналов (в книжке название не приводится) была снята прямо из набора, что больно ударило автора. Не знаю, может, существовало и другое периодическое издание, где начальство эсперанто не признавало, а вот в естественнонаучном журнале «Природа» в начале 70-х такую статью Арманда «завернули на выходе» по причине несоответствия профилю журнала. Мне было искренне жаль своей работы (впрочем, редактировать было почти нечего, поскольку Арманд прекрасно писал), неловко перед автором, который больше в «Природе» не печатался. Кто-то, думаю, и сейчас скажет — правильно сняли, язык мертворожденный, но читая книгу, начинаешь понимать, что именно эсперанто дал владевшему несколькими языками Давиду Львовичу «чувство сына планеты». Став видным географом, он не мог предать юношеской мечты о братстве народов. Из этой части сборника, где собраны выступления его соратников-эсперантистов, взято название — «Рыцарь светлого образа», здесь

же и такие запоминающиеся характеристики Арманда: «Он был из породы тех чудачков, которые... украшают мир... зеленым, эсперантским Дон-Кихотом, хотя сражался не против ветряных мельниц. И обликом своим — высокий, худой, бородатый, он был схож с прекрасным идальго...» (С.63).

Но вернемся назад. В 1924 г. школа с сельскохозяйственным уклоном была окончена, и в том же году Арманд поступил в последний частный институт в советской России — электромашиностроительный, хотя получил право сдавать экзамены на математический факультет МГУ по «конкурсу анкет» (не успел, спасая урожай в колонии). Институт, владельцем, директором и главным преподавателем которого был крупный специалист-электротехник Я.Ф.Каган-Шабшай, готовил красных инженеров-практиков за три года, чередуя лекции (по 10 часов два дня в неделю), практику на заводах (четыре дня в неделю) и погрузку вагонов в воскресенье, «чтобы было на что жрать».

Арманд институт закончил, был принят на работу, но... отправился в тюрьму. Будучи убежденным пацифистом, он отказался от военной службы, просил заменить ее любым тяжелым трудом (сегодня мы бы сказали, альтернативной службой), заранее предупредив Наркомат обороны и лично наркома Ворошилова о своих намерениях. Получил полторагодичный срок, отбыл по «системе зачетов» половину, превратив пребывание в «Матросской тишине» в полезный урок нескончаемой жизненной школы. Счастливый случай (капитан военкомата заменил запись в военном билете с «отбыл наказание за отказ...» на «освобожден... по религиозным убеждениям»), и жизнь продолжается. Разумеется, в официальной автобиографии из отдела кадров Института географии АН СССР, где Арманд проработал около 40 лет, таких деталей не приводится.

Далее Давид Львович работает конструктором на заводе «Динамо», затем на производстве, где заведует электрическим цехом. В 1935 г. решает переменить специальность, еще со времени окончания школы чувствуя большой интерес к научной, особенно экспедиционной работе, и поступает на заочное отделение географического факультета ЛГУ, затем переводится тоже на заочный в МГУ, переведенный за отличные оценки, оканчивал он уже очное отделение на кафедре зарубежных стран в 1940 г. Его дипломная работа была посвящена Канаде и Аляске. Не хватит никакого места в журнале, чтобы рассказать, как это ему удалось сделать. Второе высшее образование в ту пору было запрещено, 30-летний Арманд имел хорошую работу, жену и маленького ребенка, квартиру в заводском доме, зарплату, позволявшую ему в отпусках много путешествовать по стране вместе с семьей, стать заядлым туристом. Чтобы уволиться, понадобилось полтора года, столько же, чтобы добиться поступления в университет; безработный, брался за переводы, чертежи, статьи и книжки, работал в Валдайском лимнологическом стационаре. В том, что Арманд вновь становится студентом, да еще и экспедиционного, географического факультета, не последнюю роль, видимо, сыграла угроза ареста — в середине 30-х уже начали выявлять и ликвидировать дельных руководителей производства... Его мать в 1931 г. скончалась в ссылке. Впрочем, и «душа рвалась к природе».

«Не жизнь без географии», — так названа глава о начале работы Давида Львовича в стенах Института географии, где для начала ему предложили написать книгу о Румынии. Поскольку никаких справочных материалов на русском и знакомых ему основных европейских языках не было, выучил румынский, написал монографию, защитил диссертацию на эту тему. Эта

книжка несколько раз переиздавалась, но еще чаще популярные книжки для детей — «Как изменили Землю» и «Грозные силы природы». Он много писал научно-популярных статей, плата за которые помогала семье выбраться из долгов, сделанных в студенческое время (гонорары и в дальнейшем служили для Армандов подспорьем — они были немалые даже в нашей «Природе»). Приняли в Союз писателей. Ратовал за введение в географию математических методов, выступая с этой идеей и в институте, и в Географическом обществе. За дерзость долго держали младшим научным сотрудником.

Началась война, и с пацифистскими идеями пришлось расстаться. Записался в академическое ополчение, которое почему-то распустили (писательское, где было много друзей, все полегло под Вязмой). Как географ, знающий несколько иностранных языков, был оставлен для работы в Комиссии геолого-географического обслуживания Красной Армии под руководством А.Е.Ферсмана, при этом участвовал в работе по эвакуации института в Среднюю Азию. В экспедиции на Южном Урале, где в пещерах и на заброшенных шахтах искали возможные места укрытия войск, рискуя жизнью, спускался под землю в одиночку, «но счастливая звезда вела его дальше». Отозванный снова в Москву, угодил в председатели институтского колхоза, выращивавшего картошку под Москвой, и самолично развозил урожай по квартирам сотрудников, ночами передавая по телефону специальные сводки для ТАСС об освобожденных нашей армией городах, которые утром выходили в эфир. От усталости буквально падал с ног. В 1943 г. защитил кандидатскую диссертацию.

С 1945 г. снова в экспедициях как начальник геоморфологического отряда — на Кавказе, в Южной, потом в Северной Киргизии. Работая в поле, заду-

мывается о роли моделирования в исследовании природных комплексов и делает первую установку для изучения эрозионных процессов. Вот где пригодились его инженерные знания.

В 1948 г., когда появился сталинский план преобразования природы, свалившийся на голову специалистов по этой самой природе как снег на голову, пытается вместе с единомышленниками как-то направить его в нужное русло. Чтобы помочь справиться природе с эрозией почвы, обмелением рек, обезлесением, нужны расчеты, прогнозы последствий. Арманд готовит фундаментальный труд о физико-географических основах проектирования сети защитных лесных полос (это его докторская диссертация), собирает информацию о состоянии различных ландшафтов, участвует в обсуждении широкого круга проблем под общим названием «охрана природы». Разработан первый российский закон об охране природы, утвержденный Верховным Советом РСФСР в 1960 г. Но как сделать его реальностью? Ведь всякая информация о губительных сбросах промышленных стоков в воду и воздух, запретной ловле рыбы и сознательном разрушении памятников природы — государственная тайна. В хрущевские времена, когда каким-то чудом в некоторые газеты и популярные журналы проникали такие сведения, Арманд вырезал их и складывал в отдельную папку. Именно поэтому удалось в 1964 г. опубликовать в издательстве «Мысль» и переиздать через два года книгу «Нам и внукам», основанную на этих данных. (В нашем, академическом журнале, данные о выбросах и сбросах без ссылки на опубликованный источник вымарывались еще и в 80-х.) В книжке Арманды были не только разоблачения безобразий, автор писал о природе — воспитателе патриотизма, источнике вдохновения, примерах облагораживания ландшафта.

В своей автобиографии Арманд отмечает годы работы в области сохранения, использования и воспроизводства природы. Это теоретические и практические исследования, в институте, и в частности на Курском стационаре института, включенном в конце 60-х в Международную биологическую программу, участие в множестве экспертиз, съездов, советов, конференций, работа над земельным кадастром и упорядочением использования земель. Работа в обществах, научных советах, комиссиях, экспедиции по стране и за границу (трижды был в Китае), международные конференции, чтение лекций во множестве университетов СССР. В общем, многое успел и смог сделать. Однако сам он так не считал. Об этом свидетельствует запись полного юмором выступления Арманд на его шестидесятилетнем юбилее, полностью воспроизведенная в книге. На китайский манер он назвал его «Одиннадцать не могу», рассчитывая, что найдутся продолжатели его 11 не доведенных до

нужного результата идей, касающихся чисто научных проблем, задач образования, практических дел. Кое-что из этих «не могу» Арманду удалось довести до ума за оставшиеся после того юбилея 11 лет жизни. Он издал, наконец, свою «Науку о ландшафте», труд по теории физической географии. После его смерти удалось выпустить в свет часть его неопубликованных трудов. Последователи успешно развили его идею применения математических методов в географии.

Но жаль, что лежит без движения «12-е не могу» — недописанная Давидом Львовичем автобиография — захватывающее, по словам сына, литературное произведение, посвященное не столько себе, сколько современникам, родным и друзьям. Жаль также, что выпущенная книжка (видимо, по финансовым причинам) так коротка, что и в ней даже не нашлось места, чтобы представить авторов воспоминаний. По ходу дела, конечно, догадываешься, например, что большая часть ме-

муаров написана женой Давида Львовича — Галиной Васильевной Арманд-Ткаченко. Жаль, что нет никаких сведений об авторах отдельных воспоминаний, времени написания материалов, местах их хранения или публикации. Иногда вообще не понятно, кому принадлежат те или иные фразы, выделенные разными шрифтами. У человека со стороны (который не работает в Институте географии РАН и не принадлежит к семье Арманд) вопросы — кто есть кто, здравствуют ли — неизбежно возникнут.

Впрочем, если смотреть книжку с конца, где помещены семейные фотографии, становится немного легче. Думается, что если добавить даже к этому изданию обычный для историко-научных публикаций научный аппарат, то ее несколько кулуарный характер, досадный при таком богатом материале, пропадет. В общем, надеюсь на переиздание. Одиссея Давида Арманд безусловно достойна того, чтобы о ней узнало как можно больше людей. ■

Астрономия

Б.У.Джонс. ЖИЗНЬ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ. Пер. с англ. Под ред. В.Г.Сурдина. М.: Мир, 2007. 336 с.

В книге известного английского ученого, профессора физики и астрономии Барри Джонса рассматриваются проблемы происхождения и развития жизни на различных космических телах, а также методы поиска внесолнечных планет и обнаружения их биосфер с помощью наземной и космической техники.

Дав сжатый обзор строения Солнечной системы и Галактики, автор обсуждает базовые принципы функционирования живого вещества и диапазон физических и химических условий, в которых возможно развитие знакомых нам форм жизни. Далее излагается современный взгляд на происхождение и раннюю эволюцию жизни на Земле, а также на возможность существования жизни вне Земли — как в пределах Солнечной системы (Марс, Европа, Титан), так и в окрестности иных звезд. Взяв за основу диапазон условий, при которых возможна

жизнь земного типа, автор подробно обсуждает концепцию зоны жизни — области вокруг звезды, в которой ее планеты способны быть потенциальным прибежищем жизни. При этом учитывается возможность использовать не только лучевую энергию звезды, но и внутренние источники тепла и химической энергии самой планеты.

С точки зрения зоны жизни обсуждается будущее Солнечной системы и перспективы эволюции жизни в ней — как на Земле, так и на иных планетах и их спутниках. Описаны типы звезд, рядом с которыми могут

находиться пригодные для жизни планеты. Сделан детальный обзор методов и результатов поиска планет у других звезд, указаны их свойства и возможные сценарии эволюции. Рассмотрены перспективы обнаружения обитаемых планет и возможности контакта с внеземными разумными существами.

В книге 13 глав и каждая завершается кратким резюме и контрольными вопросами, часто требующими от читателя самостоятельной исследовательской активности. Завершают книгу подробные ответы на все контрольные задания, обширная библиография и предметный указатель.

Книга написана в деловом стиле, насыщена фактическим материалом и предполагает у читателя базовые знания в области биологии и астрономии. Она может служить ценным пособием для спецкурса по экзобиологии и поиску экзопланет. (К сожалению, такого спецкурса у нас пока никто не читает.) Но поскольку книга не перегружена техническими деталями, она представляет интерес для широкого круга преподавателей и студентов естественнонаучных факультетов, а также для всех, кто интересуется астрономией и проблемами эволюции жизни.

Зоология

Г.В.Кузнецов. МЛЕКОПИТАЮЩИЕ ВЬЕТНАМА. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 420 с.

Еще в 1978 г. по инициативе академика В.Е.Соколова началось изучение животного мира тропических лесов Юго-Восточной Азии. Сначала оно развивалось в рамках советско-вьетнамского двустороннего межакадемического сотрудничества, а с 1988 г. был специально создан Российско-Вьетнамский тропический центр. Автор монографии более десяти лет

руководил полевыми зоологическими работами во Вьетнаме, а затем вплоть до 2001 г. регулярно участвовал в экспедициях по этой стране. Он собрал и систематизировал огромный материал по фауне данного региона Юго-Восточной Азии. Его монографию можно рассматривать как своего рода систематико-географический справочник по фауне млекопитающих Вьетнама: в нем впервые на русском языке описана структура фауны, ее видовое разнообразие.

Помимо общебиологического значения, книга имеет и практическую ценность, так как автор уделяет особое внимание характеристике тех видов млекопитающих, которые составляют уникальный генофонд нашей планеты и находятся под угрозой исчезновения. Такие виды как купрей, псевдорикс, гигантский мунтжак, кабарга Березовского, олень-лира, свиной олень, курносая обезьяна, горная выдра, суматранская выдра и другие относятся к категории редких и исчезающих видов и внесены в Красную книгу Вьетнама.

Известно, что тропическим лесам Вьетнама был нанесен непоправимый ущерб в результате военного экоцида, осуществленного в ходе II Индокитайской войны. Правительство Вьетнама предпринимает активные меры по их сохранению: создана и продолжает расширяться сеть национальных парков, заповедников и природных резерватов.

Важное значение имеют также материалы автора, посвященные влиянию антропогенного воздействия на устойчивость популяций различных видов млекопитающих, особенно грызунов. Эти данные могут быть использованы для осуществления мониторинга за современным состоянием тропических лесов Вьетнама и прилегающих территорий.

Книга представляет интерес для ученых, которые занимают-

ся исследованием флоры и фауны Индо-Малайского региона.

Гидробиология

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПРОДУКЦИОННОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ. Под ред. А.Ф.Алимова и В.В.Бульона. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 329 с.

В сборнике научных работ, подготовленном по материалам Международной конференции «Водная экология на заре XXI века», посвященной столетию со дня рождения основателя отечественной школы продукционной гидробиологии Георгия Георгиевича Винберга (1905—1987), описаны современные методы гидробиологических исследований и подходы к решению главных проблем продукционной гидробиологии (таких как оценка реакции водных экосистем на воздействие факторов внешней среды, в том числе и антропогенных). Показаны достижения в теории функционирования водных экосистем, в изучении потоков энергии и круговорота веществ в пресноводных и морских экосистемах, а также успехи в экологической физиологии водных организмов и моделировании водных экосистем.

Публикуются результаты исследований структуры и особенностей функционирования сообществ планктона и бентоса в водоемах различного типа. Часть статей посвящена вопросу изменений биологических систем в условиях токсической среды и антропогенной нагрузки. Особый интерес вызывают результаты экспериментальных работ по изучению функционирования искусственных экосистем как основы системы жизнеобеспечения в условиях космического полета.

Книга включает работы второго поколения учеников и последователей профессора Винберга.

Почему медведи не любят фотографов

Л.М.Баскин,

доктор биологических наук

Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН
Москва

Обилие и малая пугливость бурых медведей, обитающих в Кроноцком государственном заповеднике, сделала их излюбленным объектом фотографов. Не только сотрудники заповедника, но и приезжие фотографы-профессионалы снимают этих красивых хищников, причем стремятся сделать снимки с предельно близкого расстояния. В результате уже два фотографа — японец Мичио Хошино и русский Виталий Николаенко — были убиты медведями. Трагическая судьба этих замечательных профессионалов глубоко трогает меня, так как я знал их обоих лично. Мичио перед поездкой на Камчатку просил меня быть его гидом. Обстоятельства (научный проект в Швеции) не позволили мне быть с ним, так что его гибель я воспринял отчасти и как свою вину.

Будучи на Камчатке в 2005 и 2006 гг., я расспросил главного охотоведа Камчатского управления охотничьего хозяйства Константина Кудзина и участника тех событий, заместителя директора Кроноцкого государственного заповедника В.И.Мосолова, об обстоятельствах гибели отважных фотографов. В интервью я обратил внимание на особенности поведения медведей, которые, вероятно, способствовали произошедшему. В обоих случаях фотографы работали с медведями, подпуская их на близкое расстояние. И в обоих случаях воз-

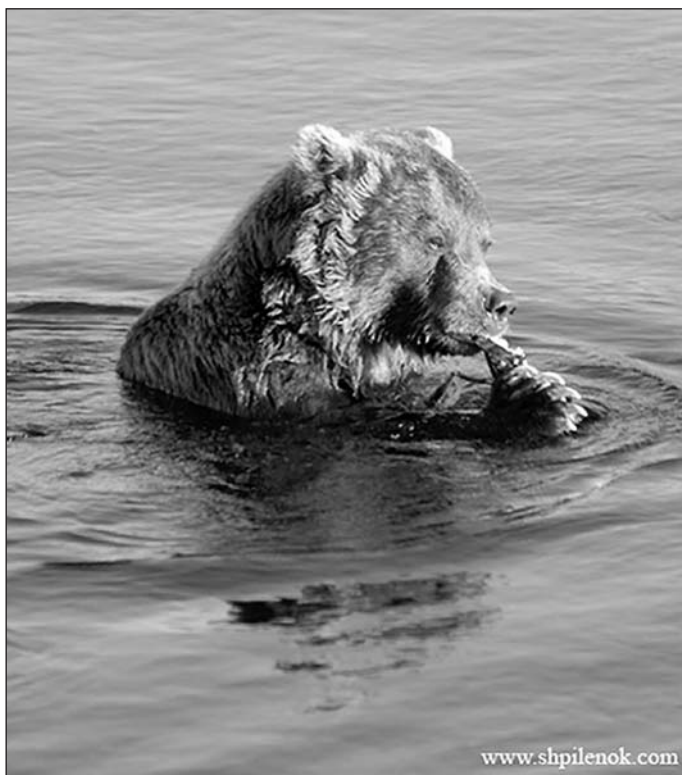
никло личное распознавание, т.е. медведи отличали этих фотографов от других людей, и их агрессия была персонально направлена.

Первый случай произошел в 1996 г. на Курильском озере — урочище, которое славится обилием медведей. Тогда там поселилась группа из пяти человек — взявшийся быть гидом Игорь Ревенко, Мичио и три японских кинооператора, снимавших фильм о нем — прославленном фотографе-соотечественнике, авторе фотоальбомов медведей на Аляске и вот теперь приехавшем на Камчатку. Группа не имела оружия, только шумовые ракеты. Как рассказал Кудзин со слов Ревенко, вскоре после прибытия на место Мичио обратил внимание на крупного медведя, который не убежал при приближении человека и продолжал рыбачить. Такое поведение позволяло Мичио фотографировать медведя с близкого расстояния. После двух дней работы Ревенко заметил по следам на грязи, что не только Мичио ходит за медведем, но и этот медведь ходит за Мичио. Он предупредил Мичио, объяснив, что это опасно: зверь интересуется персонально Мичио. Наблюдая, как Мичио работает, Ревенко заметил, что медведь нервничал, злился. В тот ужасный вечер он предложил Мичио ночевать в доме, но Мичио наотрез отказался. Он отрицал опасность и отправился, как обычно, спать в свою палатку, поставленную под окном. Ночью медведь пришел к дому, об-

следовал палатку, определил, где голова Мичио, и ударом через полотно убил его. Через дыру в палатке он вытащил тело и унес. Насмерть перепуганные люди позвонили в заповедник и попросили о помощи. Тем же утром к ним с вертолетом прибыл Мосолов. С воздуха охотники без труда обнаружили зверя, сидевшего неподалеку от домика в кедровом стланике на добыче и застрелили его. Кинооператоры не решались выйти из дома, утверждая, что, вероятно, охотники застрелили первого попавшегося медведя, благо их на Курильском озере с одной точки можно видеть до десятка. Но в желудке убитого хищника были обнаружены кисти рук Мичио.

Владимир Ильич Мосолов привел мне свою версию происшедшего. Якобы возле избушки жила медведица с тремя медвежатами. Она привыкла подбрасывать отбросы, так что и ее, и малышей часто видели. Один из медвежат рос «сорванцом», часто отбивался от семьи, бродил в одиночку, тоже привык навещать избушку. Из него и вырос тот самый зверь, что через четыре года стал убийцей.

Второй случай произошел в 2003 г. в Кроноцком заповеднике с профессиональным фотографом Виталием Николаенко. Его большим профессиональным успехом были съемки крупного медведя, которого он назвал Добрыней. Те снимки, опубликованные в книге «Камчатский медведь», сделали Николаенко знаменитым. Когда Доб-



рыня умер, ему было 18 лет, возраст не предельный для медведей. Николаенко сделал объектом своих съемок другого медведя. Как и предыдущий, он подпускал фотографа на близкую дистанцию, однако, как сообщал коллегам Николаенко, медведь нервничал, не любил настойчивого наблюдателя. 26 декабря 2003 г. Николаенко следовал за медведем на лыжах, надеясь сделать снимок, которого еще не делал никто — медведь готовит берлогу и ложится в нее. Идя по следам, Николаенко пришел

к зарослям ольхового стланика, в которых скрылся медведь. Сняв лыжи, Николаенко полез в заросли. Затаившийся медведь один раз ударил его лапой и бежал. Удар оказался смертельным. Сотрудники заповедника, обеспокоенные тем, что Николаенко не пришел к сроку, вызвали помощь. Опять прилетел Мосолов. Обход участка стлаников показал, что медведь убежал, без остановки мчался два километра. Найти его не удалось.

В фотоаппарате Николаенко были найдены 17 снимков, не-

сколько из которых были предоставлены мне Мосоловым и здесь публикуются. Медведь-убийца снят во время кормежки на озере. Также Николаенко снял глубокую борозду в снегу, оставшуюся за зверем, зигзаги следа, когда медведь делал «поворотки» в сторону преследователя. След уходит в ольховый стланик, ставший роковым для отважного человека.

Различия в дистанциях, на которые подпускают пешехода копытные, хорошо изучены. Эти расстояния оказались хорошей



мерой пугливости (дистанция бегства) и бдительности (дистанция наблюдения) животных. Известен ряд стратегий поведения, отличных у животных разной пугливости: от безоглядного бегства до пребывания в пределах видимости человека с сохранением некоторой безопасной дистанции. Такие измерения для медведей пока не были сделаны, хотя в открытом ландшафте (как, например, в горных заповедниках) их вполне можно было бы провести.

Возникновение личного распознавания человека медведем является моей гипотезой. Возможно, в этом случае мы имеем дело с другой формой поведения (не оборонительной, а социальной), когда причиной определенного поведения медведя становится не только пугливость, но и социальная мотивация. Медведь начинает видеть в человеке соперника, вытесняющего его из участка обитания, а навязчивое пребывание на небольшой дистанции, независимое поведение расценивается зверем как демонстрация доминирования.

Эту заметку я послал двум своим друзьям, известным исследователям крупных млекопитающих. Профессор Валерий Гайст из Канады согласился с моими выводами и дополнил их своими наблюдениями. Вот часть его письма.

«Дорогой Леонид. Я согласен с твоими оценками. Я думаю, что абсолютно правильно, что медведи принимают приближение человека, которого они стали лично распознавать, как вызов их статусу. Я видел фильм, сделанный на Камчатке Чарли Расселом. Как специалист по поведению животных, я был взвол-

нован, когда увидел, что медведи в фильме демонстрируют классическое поведение доминирования, в то время как Чарли как раз отвернулся. Демонстрация доминирования — это социальный вызов, прелюдия к неожиданной атаке. Я изучал демонстрацию доминирования медведей в связи со случаями их нападений на служителей в зоопарках. Работая близко с крупными животными, необходимо понимать их сигналы, которые говорят, что человеку нужно как можно скорее отойти. Я думаю, это было то самое, что наблюдал охотовед, сопровождавший японского фотографа, и о чем он предупреждал.

Известный американский исследователь медведей Крэйгхед обнаружил, что гризли ложатся в берлоги как раз в первый большой снегопад. Под снегом медведи прячутся в свои зимние берлоги. Он объяснял, что эта особенность поведения связана с избеганием медведями соседней-каннибалов. Обычно такими бывают крупные медведи, которые по следам находят берлоги других медведей и убивают их. Следовательно, я предполагаю, что медведи особенно чувствительны к любому, кто идет за ними по следам к их берлогам. Как ты написал в заметке, медведь, убив Николаенко, бежал без оглядки. Другими словами, будучи обнаружен, он бежал от своей берлоги».

Патрик Волкенбург, заведующий лабораторией охотничьего хозяйства Аляски, в своем письме напомнил фильм о Тимоти Тредвелле, убитом медведем в Национальном парке Катмаи (Аляска). «Я думаю, что некоторые медведи запомнили Тредвелла и, вероятно, считали его не-

множко сумасшедшим, и в конце концов один из тех, кого фотограф допек, атаковал его».

Интересные комментарии я получил от профессионального фотографа Игоря Шпиленка, снимающего последние несколько лет в Кроноцком заповеднике*. Он объяснил необходимость приближаться к медведю тем, что наиболее эффективные съемки ведутся с помощью широкоугольного объектива. Тогда в кадре оказывается не только медведь крупным планом, но и окружающая его среда. Игорь также считает приучение определенного медведя к себе, установление персональных связей неизменной условием съемки лучших кадров. Разницу в поведении зверей легко можно заметить, когда Игорь берется сопровождать на съемку других операторов, часто посещающих заповедник. Медведи тотчас увеличивают оборонительную дистанцию, ведут себя более осторожно и подозрительно. Наоборот, когда Игорь работает в одиночку, медведи бывают достаточно спокойны, продолжают свою повседневную жизнь, подпускают на близкое расстояние.

В отличие от своих несчастливых коллег, Игорь Шпиленок понимает всю опасность такого метода. Поэтому он работает, не выпуская из рук оружия. Кроме того, он использует морской спасательный жилет, который, будучи надутым (достаточно дернуть за тросик, как воздух из баллончика надувает жилет), создает иллюзию «большого» человека, заставляя медведей вести себя более трусливо. ■

* Его фотографии можно видеть на сайте www.shpilenok.com.

Тематический указатель за 2007 год

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ

ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Арктика в Колонном зале*. Зубрева М.Ю.	10	81
«В Каноссу!», или Как Сергей Чахотин вернулся на родину. Сорокина М.Ю.	3	69
Владимир Иосифович Векслер — создатель синхрофазотрона. К 100-летию со дня рождения. Болотовский Б.М., Ратнер Б.С.	4	74
Граниты Иртыша глазами натуралистов трех столетий. Бурштейн Е.Ф.	7	46
Доступ к «основам основ» физики открыт* Зоолог, открывший мир погонофор.	3	83
К 100-летию Артемия Васильевича Иванова. Мамкаев Ю.В., Степаньянц С.Д.	8	63
К 100-летию экспедиций принца Альбера I Монакского*	11	88
ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2006 ГОДА		
По физике — Дж.Мазер и Дж.Смут.		
Сажин М.В., Хованская О.С.	1	67
По химии — Р.Корнберг. Поляновский О.Л.	1	72
По физиологии или медицине — Э.Файер и К.Мэллоу. Кленов М.С.	1	76
Люди и окаменелости. Наугольных С.В.	5	55
Нано в Германии*	11	85
От «выдающегося биолога» до «красного Франкенштейна»: Илья Иванов в советской и постсоветской биографиях.		
Кременцов Н.Л.	5	71
Первое крещение русов. Никонов А.А.	5	60
Перспективы углеродных наноструктур*	9	81
Портрет «неизвестного».		
К 300-летию Леонарда Эйлера. Голицын Г.С.	6	61

Знаком* отмечены материалы, опубликованные в разделе «Новости науки».

Знаком** отмечены материалы, опубликованные в разделе «Калейдоскоп».

Предугадавший вирусную природу рака.

К 150-летию со дня рождения В.В.Подвысоцкого.

Голиков Ю.П.	10	67
«ПРИРОДЕ» — 95!	1	3
Слово — Станиславу Лему ¹	1	4
Пятнадцать писем о «Природе» ²	1	5
Результаты конкурса научно-популярных статей	2	3
Секретная физика и научная этика.		
Из истории водородной бомбы. Горелик Г.Е.	7	59
Комментарий к статье Г.Е.Горелика. Ритус В.И.	7	67
Соловецкий водопровод. Широкова В.А.	5	31
Спутник-1. Сурдин В.Г.	10	38
У истоков систематики.		
К 300-летию Карла Линнея. Скворцов А.К.	4	3
Эволюционная морфология в России оживает.		
Размышления после конференции. Малахов В.В.	8	74

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В эллиптических галактиках все-таки есть темное вещество*. Вибе Д.З.	3	78
Вдали от звезд нет планет-гигантов*	11	84
Внесолнечная планета с гигантским каменным ядром*	2	73
Галактический долгожитель*	11	84
Гибридный гамма-всплеск*	5	79
Гигантская далекая галактика оказалась близкой карликовой*	8	82
Гнев Гелиоса. Сомов Б.В.	10	40
Звезда с хвостом*	12	73
Звезда-рекордсмен теряет в весе*	5	79
Звездные ядра галактик. Сильченко О.К.	2	15
Искусственная звезда*. Сурдин В.Г.	9	80
Кольцо из темной материи*	10	76
Комета Макнота. Сурдин В.Г.	6	31

¹ Перевод К.Душенко.

² Вступление, публикация и комментарии Н.В.Успенской.

Необычная пара коричневых карликов в Орионе*	3	78	Наблюдаемо ли комбинационное рассеяние света от одиночной молекулы? Акципетров О.А.	1	27
Открыто новое шаровое скопление*	7	79	Нанотрубки учатся читать*	8	83
ПРИРОДА ВОЛН – ВОЛНУЮЩИЙ ПРЕДМЕТ, В ЕЕ ЕДИНСТВЕ ГЛАВНЫЙ СКРЫТ СЕКРЕТ...			Новая концепция сверхпроводниковой памяти*	5	81
30 лет Институту прикладной физики РАН	3	3	О магнитоэлектричестве, которое не описывается уравнениями Максвелла. Куркин М.И., Бакулина Н.Б.	11	13
Релятивистские джеты в астрофизике.			Открыт самый тяжелый изотоп кремния*	12	74
Деришев Е.В., Железняков В.В., Корягин С.А., Кочаровский В.В.	3	4	Первая в мире коммерческая ПЭС**	2	60
«Фрики» — морские волны-убийцы.			Пленки из углеродных нанотрубок защищают от СВЧ-излучения*	12	73
Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В.	3	14	По следам углеродной сверхпроводимости.		
Загадки атмосферного электричества.			Лебедев С.Г.	8	38
Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю.	3	24	Понски пентаварка продолжают! Ермолов П.Ф., Кубаровский А.В., Никитин В.А.	7	11
Прямое доказательство существования темного вещества*	6	82	ПРИРОДА ВОЛН – ВОЛНУЮЩИЙ ПРЕДМЕТ, В ЕЕ ЕДИНСТВЕ ГЛАВНЫЙ СКРЫТ СЕКРЕТ...		
Рекордная скорость вращения нейтронной звезды*. Вибе Д.З.	8	81	30 лет Институту прикладной физики РАН	3	3
Самая яркая сверхновая*. Вибе Д.З.	4	85	Релятивистские джеты в астрофизике.		
Спектроскопия внесолнечных планет*	6	82	Деришев Е.В., Железняков В.В., Корягин С.А., Кочаровский В.В.	3	4
Трехмерное распределение темного вещества*	8	81	«Фрики» — морские волны-убийцы.		
«Центральная машина» в компактных астрофизических объектах. Бескин В.С.	8	29	Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В.	3	14
Эхо активности ядер галактик. Бочкарев Н.Г.	12	44	Загадки атмосферного электричества.		
			Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю.	3	24
ПЛАНЕТОЛОГИЯ. МЕТЕОРИТИКА. ФИЗИКА И ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ. КОСМОХИМИЯ			Репортаж из-под ледового купола. Сагалевич А.М.	10	50
Глобальное потепление Солнцем не объяснить*	5	80	Робот-геккон**	3	58
Есть ли жизнь на Энцеладе и сколько длится день на Сатурне?*. Вибе Д.З.	10	76	Самоорганизация неустойчивых сред.		
Измерен Харон — спутник Плутона*.			Точные решения. Трубников Б.А.	4	68
Сурдин В.Г.	7	79	Сверхпроводящий кремний?*	5	80
Качество воздуха и оксиды азота*.			СКВИД из углеродных нанотрубок*	2	74
Румянцева С.А.	6	83	Соловецкий водопровод. Широкова В.А.	5	31
Планета в системе тройной звезды*. Вибе Д.З.	2	74	Структура твердого кислорода*	3	80
Семейство транснептунового астероида*	3	79	Тримаран — «рассекатель волн»**	7	18
Тонкие пленки на морской поверхности*	9	81	Фарадеевское вращение и электронные спины*	6	84
Что несут лесные пожары атмосфере?			Хромающий робот**	7	19
Кароль И.Л., Киселев А.А.	5	40			
ФИЗИКА. ТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА			ХИМИЯ		
Автосистемы ночного видения*	4	85	Высокий лес нанотрубок заданного диаметра*	5	83
Водород в наноструктурах*	6	84	Досадный перекокс Нобелевской премии.		
Вольтамперная характеристика и модуль Юнга нанотрубок*	11	85	Левицкий М.М.	5	66
Глубокое бурение в Антарктиде: новые проекты.			Косметика Древней Греции**	4	29
Талалай П.Г.	6	36	Массив сверхдлинных углеродных нанотрубок*	7	82
Зависит ли прочность твердого тела от его размеров?			Международная химическая олимпиада в Москве.		
Волынский А.Л.	9	10	Еремин В.В.	11	38
Загадка нейтрино решается*	8	83	На границе раздела двух жидких фаз*.		
Зачем нужны сверхмощные лазерные импульсы?			Румянцева С.А.	7	81
Горбунов Л.М.	4	11	Нанохимия*	7	80
Как разрушается сверхпроводимость*	10	77	Новые композитные материалы на основе графена*	2	75
Как ток спины переносит. Спинтроника многослойных ферромагнетиков. Гуляев Ю.В., Зильберман П.Е., Эпштейн Э.М.	5	20	Перспективы углеродных наноструктур*	9	81
Квантовые компьютеры на полярных молекулах*	2	75	Применение нанотрубок в диагностике рака*	4	87
Ключ на весь мир*	5	82	Прочность жгутов нанотрубок повышается скручиванием*	10	79
Кремниевая спинтроника*	10	78	Тысячелетия, спрессованные в минуты.		
«Лондонский ряд»**	7	58	Левицкий М.М., Рабкина А.Ю., Биляченко А.Н.	3	41
«Мельница»-небоскреб**	2	31	Углеродные нанотрубки в дамасской стали*	3	80
Мир лазерных солитонов. Розанов Н.Н.	6	51	Углеродные нанотрубки для очистки сточных вод*	12	74
			Упрочнение полимеров углеродными нанотрубками*	12	74
			Химия: дорога к славе. Левицкий М.М.	4	37
			Эластичные композиты на основе глины*	3	80

БИОЛОГИЯ

Биоразнообразие моря Уэдделла*	8	86
Быстрая реверсия естественного отбора*	10	79
Глубоководные морские пауки*	2	77
Городские птицы меняют характер пения*	8	84
Жар-птичка. Корсун О.В.	4	56
Конкуренция и размер клюва земляных вьюрков*	5	83
Ломка голоса бывает не только у людей.		
Володин И.А., Володина Е.В., Кленова А.В.	2	23
Мир обойденных величин в почве. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В.	7	38
Мурена и окунь — в одной охотничьей команде**	7	57
Партеногенез у варана*. Семенов Д.В.	2	75
Под дождем в полярную ночь на Айновых островах.		
Кавцевич Н.Н., Матишов Г.Г., Кондаков А.А.	7	74
Распределение кальмаров в Южно-Курильском районе*	9	83
Случай неприменимости правила Копа*	6	85
Сурикаты: няньки по принуждению**	6	65
Таинственный архипелаг в Финском заливе.		
Глазкова Е.А., Глазков П.Б.	1	55
Уровни гомеостаза. Хлебович В.В.	2	61
Центросома — концертмейстер клетки.		
Узбеков Р.Э., Алиева И.Б.	5	3
Червяги выкармливают детенышей*. Семенов Д.В.	7	83
Эволюция мифозоев. Иванова-Казас О.М.	4	31

ЭСТАФЕТА ПОКОЛЕНИЙ

К 90-летию Института экспериментальной биологии и 40-летию Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН	10	3
Одна история двух институтов. Озернюк Н.Д.	10	4
Стволовые клетки и проблемы дифференцировки. Домарацкая Е.И., Паюшина О.В., Старостин В.И.	10	8
Нейротрансплантация для терапии мозга? Александрова М.А.	10	18
«Программирование» здоровья. Захарова Л.А.	10	23
Слепушонки — исключение из многих правил. Баклушинская И.Ю.	10	29

БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ. МИКРОБИОЛОГИЯ

В Индии открыт новый вид птиц**	7	19
Вспышки размножения непарного шелкопряда*.		
Емец В.М.	9	82
Выбор места для кладки с использованием чужого опыта*. Семенов Д.В.	3	81
Гении мимикрии. Бенедиктов А.А.	6	33
Гладыш-пловец**	9	20
Змея защищается ядом жабы**	9	61
Коллективная охота у пауков**	6	64
Коловратки — симбионты амёб*.		
Чернышев А.В.	5	85
Краснокнижный вид оказался гибридом**	6	65
Леса Амазонии в сухие сезоны**	2	60
Мимикрия у лягушек-древолазов*	5	84
Новый вид грызунов*	9	80
Новый род обезьян**	6	65
По запаху ящерицы узнают друг о друге все*.		
Семенов Д.В.	11	86
Потепление и инкубация яиц пресмыкающихся*	8	84

СИБИРСКИЙ ЗИН

К 50-летию Сибирского отделения Российской академии наук	12	3
Институт систематики и экологии животных СО РАН, год рождения — 1944...		
Харитонов А.Ю.	12	4
Сибирская кладовая зооразнообразия.		
Мордкович В.Г.	12	10
Трудолюбивая стрекоза. Попова О.Н.	12	16
Мониторинг животного мира.		
Равкин Ю.С.	12	17
Алтай — источник новых видов насекомых.		
Баркалов А.В.	12	24
Завоевания ротана. Ядрёнкина Е.Н.	12	24
Маленькие труженики большой науки.		
Резникова Ж.И.	12	25
Загадки итальянской саранчи. Сергеев М.Г.	12	35
Школа любви. Потапов М.А.	12	37
Джунгарские хомячки — лабораторные животные.		
Литвинов Ю.Н., Гармс А.И.	12	42
Субтропические пришельцы в российских морях*.		
Чернышев А.В.	6	85
Улитка путешественница**	1	54
Червяги выкармливают детенышей*. Семенов Д.В.	7	83
Яйца-болтуны у кожистой черепахи*. Семенов Д.В.	12	75

ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ. БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА. БИОТЕХНОЛОГИЯ

Аллополиплоидное видообразование у бесхвостых амфибий*. Викторов А.Г.	2	76
Апоптоз нейронов*	10	80
Бумага из тростника**	7	18
Вакцина против рака — первые успехи.		
Киселев Ф.Л., Боринская С.А.	3	52
Ген, контролирующий рост волос*	3	81
Генетическая рекомбинация в свете эволюции.		
Бородин П.М.	1	14
Генетически модифицированные быки**	8	50
ДНК-штрихкодирование в энтомологии.		
Захаров И.А., Шайкевич Е.В., Ившин Н.В.	9	3
Инсулин в мозге*. Белянова Л.П.	11	87

ПЕРВЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ В СИБИРИ

К 50-летию Института цитологии и генетики СО РАН	6	3
Возвращение генетики. Шумный В.К.	6	4
Обретет ли человек нового друга? Трут Л.Н.	6	11
Нить Ариадны в генетике. Жданова Н.С.	6	18
Генная инженерия и растения. Кочетов А.В.	6	25
Пространственная организация ДНК. Разин С.В.	5	13
Расшифрован геном медоносной пчелы*.		
Никонов Ю.М., Беньковская Г.В., Удалов М.Б.	4	88
Сверхпрочный моющийся скотч**	8	50
Спасение тувинской овчарки. Захаров И.А., Каштанов С.Н., Каштанова С.В.	11	44
Углеродные нанотрубки помогут вырастить новую кость?*	7	82
Улитка путешественница**	1	54
Фораминиферы могут дышать... нитратами*.		
Гиляров А.М.	4	86
Хромосома человека в четырех измерениях.		
Рубцов Н.Б.	8	3

Центромеры и теломеры хромосом. Вершинин А.В.	9	21	Перелетных птиц становится все меньше**	4	29
ЭСТАФЕТА ПОКОЛЕНИЙ					
К 90-летию Института экспериментальной биологии и 40-летию Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН	10	3	Попытки получить потомство от Одинокого Джорджа**	7	58
Одна история двух институтов. Озернюк Н.Д.	10	4	Потепление и инкубация яиц пресмыкающихся*	8	84
Стволовые клетки и проблемы дифференцировки. Домарацкая Е.И., Паюшина О.В., Старостин В.И.	10	8	Почем суп из акульих плавников?*	7	18
Нейротрансплантация для терапии мозга? Александрова М.А.	10	18	Прибрежные экосистемы больших городов*.	8	85
«Программирование» здоровья. Захарова Л.А.	10	23	Реинтродукция кабанов-карликов**	7	58
Слепушонки — исключение из многих правил. Баклушинская И.Ю.	10	29	Родники на водосборе Ивановского водохранилища. Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.	2	66
ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ДЕМОГРАФИЯ. СОЦИОЛОГИЯ					
Венецианские чумные захоронения**	4	30	Рыбы и кораллы**	9	62
Ген, контролирующий рост волос*	3	81	Субтропические пришельцы в российских морях*.	6	85
Глипролины с множеством функций*.	10	81	Чернышев А.В.	3	33
Белянова Л.П.	10	81	Тайные захоронения слонов**	5	36
Горячие точки современной геронтологии. Анисимов В.Н.	2	52	Три дня с дрофой наедине. Булавицев В.И.	12	74
Конфликт организма человека с его микрофлорой. Лебедев К.А., Понякина И.Д.	7	20	Углеродные нанотрубки для очистки сточных вод*	8	49
Может ли птичий грипп стать «человеческим»?*	5	85	Уровень эрозии почв**	7	58
Шутова М.В.	9	82	Цена глобального потепления**	7	58
Ноопепт: защита липидов мозга от окисления*	8	85	Экосистемы прибрежных акваторий Белого моря*.	7	83
Ноотропный дипептид против глутамата*	8	85	Померанец К.С.	5	86
Применение нанотрубок в диагностике рака*	4	87	Биоморфные образования в фосфоритах*	9	28
Самоубийства и социальные перемены в России*	2	78	Вода под водой. Каримова О.А., Зекцер И.С.	9	28
Сухой закон для поселка и джин для Председателя. Козлов А.И.	8	45	Граниты Иртыша глазами натуралистов трех столетий. Бурштейн Е.Ф.	7	46
Хронометр жизни. Анисимов В.Н.	7	3	Древнее цунами на Соловецких островах. Никонов А.А.	9	33
ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ					
«Бизнес в прохладе»**	3	59	Китовый хребет: календарь событий кайнозоя. 208-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн». Басов И.А., Рубаник Н.К.	5	68
В ТРЕВОГЕ ЗА КОРАЛЛОВЫЕ РИФЫ	4	48	Мегацунами на заре цивилизации*.	7	84
Мальдивские рифы после катастрофы. Кикингер Р., Островский А.Н.	4	48	Никонов А.А.	9	83
Экосистемы глубоководных кораллов и губок. Орлов А.М.	4	52	Нефтегазоносность шельфа Восточной Арктики*	9	83
Вымер черный западный носорог**	7	18	О парадигме геологии. Ярошевский А.А.	1	23
Вымирание тунца**	5	27	Первое крещение русов. Никонов А.А.	5	60
Гвианские природные ценности под угрозой**	5	27	Плато Демерара — свидетель древней истории тропической Атлантики.	3	66
Где жить лошадям Пржевальского?*	5	27	207-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн». Басов И.А., Рубаник Н.К.	3	66
Орден К.ван	5	28	Родники на водосборе Ивановского водохранилища. Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.	2	66
«Инвентаризация» острова**	4	29	Родники Санкт-Петербурга. Воронов А.Н.	6	44
Китобойный промысел**	7	19	Страна водопадов. Уфимцев Г.Ф.	9	76
Коралловые рифы разрушаются**	6	65	Уникальные кадры. Флоренский П.В.	1	38
Красная книга пополняется**	4	30	Формы нахождения молибдена, таллия и теллура в океане*	12	77
Крупнейший в мире лесной резерват**	9	20	ГЕОХИМИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ. КРИСТАЛЛОХИМИЯ		
Медузы вытесняют рыб**	3	59	Изотопные показатели геохимических изменений осадочных пород. Виноградов В.И.	11	22
Метод идентификации леопарда*	12	76	Кристаллические бораты — оптические материалы нового поколения. Леонюк Н.И.	12	53
Морской резерват на Гавайях**	6	64	Открытие, дискредитация и реабилитация одного минерального вида. Расцветаева Р.К.	9	41
На глухарином току. Булавицев В.И.	3	49	Современная рентгенография минералов.	8	11
Неожиданный эффект случайной интродукции*	2	77	Пущаровский Д.Ю., Зубкова Н.В.	8	11
От ниш к нейтральности в биологическом сообществе. Гиляров А.М.	11	29	Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Алтая. Бабошкина С.В., Горбачев И.В., Пузанов А.В.	3	60

Фрамбоидальный пирит причастен к возникновению жизни на Земле? Кизильштейн Л.Я.	1	49	Ранняя весна в Европе**	5	28
Фундаментальные проблемы древнейшей науки. Борущий Б.Е.	2	5	Рукотворное песчаное море Северной Африки. Чичагов В.П.	2	32
ГЕОФИЗИКА			Сверхточное зондирование атмосферы**	3	59
Атмосферная обсерватория в Тикси*			Темп таяния ледниковых покровов**	3	59
Бурлаков Ю.К.	3	83	Темпы таяния ледников**	9	62
База данных и модели глубинного строения осадочных бассейнов Земли. Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забаринская Л.П.	10	58	«Тибетский лифт» для поллютантов**	1	26
Влияние льда на динамику озер*	10	82	Трансарктический дрейф «Тары». Бурлаков Ю.К.	4	59
Глубина залегания источника магмы**	2	30	Характер муссонов в Индии меняется**	8	49
Карта океанских вихревых потоков**	2	30	Частота циклонов и пески Сахары**	7	18
Мегацунами на заре цивилизации*. Никонов А.А.	7	84	Черноморские вихри на службе марикультуры. Фащук Д.Я., Муравьев В.Б.	2	42
ПРИРОДА ВОЛН – ВОЛНУЮЩИЙ ПРЕДМЕТ, В ЕЕ ЕДИНСТВЕ ГЛАВНЫЙ СКРЫТ СЕКРЕТ...			Что есть Каспий и как его поделить?		
30 лет Институту прикладной физики РАН	3	3	Чернявский Е.Б.	1	40
Релятивистские джеты в астрофизике.			Шаровая молния — еще один эксперимент**	9	20
Деришев Е.В., Железняков В.В., Корягин С.А., Кочаровский В.В.	3	4	ОКЕАНОЛОГИЯ		
«Фрики» — морские волны-убийцы.			Батиметрические карты Мирового океана**	2	31
Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В.	3	14	Вентиляция вод Охотского моря*	10	82
Загадки атмосферного электричества.			Вулкан Хоум Риф вновь породил остров**	7	19
Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю.	3	24	Глубоководная обсерватория «МОМАР»**	3	68
СЕЙСМОЛОГИЯ. ВУЛКАНОЛОГИЯ			Динамика вод Черного моря*	12	77
Активные разломы и предвестники землетрясений*	3	82	Дрейф плавучих льдов на северо-западе Тихого океана*	11	87
Древнее цунами на Соловецких островах.			Ледовые течения на поверхности Антарктиды*	12	76
Никонов А.А.	9	33	Модернизация сети предупреждения о цунами**	8	50
Извержение вызвано работой буровой скважины**	8	50	Настоящее и будущее Гольфстрима.		
Новый тип вулканизма**	4	29	Бондаренко А.Л., Жмур В.В.	7	29
Цунами в глубине Кольского полуострова?			Новый глубоководный аппарат**	2	30
Никонов А.А.	1	35	«Ноев ковчег» Антарктики**	9	62
ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. МЕТЕОРОЛОГИЯ. ГЛЯЦИОЛОГИЯ			Открыты подводная гора и гидротермаль**	1	54
Арктика в Колонном зале*. Зубрева М.Ю.	10	81	Репортаж из-под ледового купола.		
Атмосферная обсерватория в Тикси*.			Сагалевиц А.М.	10	50
Бурлаков Ю.К.	3	83	Характеристика водных масс Северной Атлантики*	9	84
Береговая линия Франции отступает**	9	61	Черноморские вихри на службе марикультуры. Фащук Д.Я., Муравьев В.Б.	2	42
Вокруг «Коровьего брода». Фащук Д.Я.	11	3	Численные модели и наблюдения разошлись**	9	62
Гидрофизические съемки в Канадской Арктике**	9	19	ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ. ПАЛЕОКЛИМАТОЛОГИЯ		
Глобальное потепление Солнцем не объяснить*	5	80	Беспокойная судьба древних окаменелостей.		
Глобусы: второе рождение. Берлянт А.М.	8	19	Сенников А.Г.	12	63
Глубокое бурение в Антарктиде: новые проекты.			Биоразнообразие Амазонии в миоцене**	3	33
Талалай П.Г.	6	36	Выгодно быть моллюском-«левой»**	7	58
Древний колодец в Чуфут-Кале. Супруненко Ю.П.	7	69	Гигантская бегающая птица*	7	85
К 100-летию экспедиций принца Альбера I Монакского*	11	88	Динозавры Сахалина и Японских островов.		
Ледовая летопись климата**	1	26	Алифанов В.Р.	5	29
Международный полярный год 2007–2008.			Древние австралийские животные вымерли по вине человека?*	9	84
Котляков В.М., Саруханян Э.И.	3	34	Древность пчелы — 100 миллионов лет**	7	19
Микрокапли рождают мощный ливень**	5	28	«Климатические качели»**	8	49
На плато сейдов Кольского полуострова. Мизин В.Г.	8	51	Люди и окаменелости. Наугольных С.В.	5	55
Озеро Чад усыхает**	3	68	Недостающее звено на пути к четвероногим?*		
Пещеры Иркутского амфитеатра. Трофимова Е.В.	5	47	Лебедев О.А.	6	86
Подледные озера Антарктиды**	2	30	Исследования палеолимнологов в Крыму.		
Полярные льды на Земле формировались синхронно**	3	58	Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Столба В.Ф.	12	61
			Плезиозавры восточной окраины Азии*.		
			Алифанов В.Р.	2	79
			Юрибейский мамонтенок. Бурлаков Ю.К.	11	49
			Ящерницы в эпоху динозавров. Алифанов В.Р.	9	47

АРХЕОЛОГИЯ. АНТРОПОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ

В Центральном Дагестане открыты памятники раннего плейстоцена. Амирханов Х.А.	4	62
Венецианские чумные захоронения**	4	30
Визит к «Челюскину»*. Рабинович И.И.	2	80
Древние дороги на космических снимках**	9	61
Из истории ранней Москвы*. Панова Т.Д.	6	87
К истокам древних московских улиц. Панова Т.Д.	7	55
Кельтские соляные копи**	9	20
Краски Парфенона**	2	31
Левантский коридор — этапы первоначального расселения человечества. Лаухин С.А.	9	59
«Могила рыкающих львов»**	3	59
На плато сейдов Кольского полуострова. Мизин В.Г.	8	51
Обнаружен королевский фрегат Людовика XIV**	4	30
Палестина — «колыбель садовода»?*	7	85
Парижские древности**	5	28
Раскопки на Подоле Боровицкого холма*.		
Панова Т.Д., Осипов Д.О.	12	78
Рим — действительно вечный город**	2	31
«Робинзоны» острова Тромлен**	7	57
Самая северная в мире стоянка людей эпохи позднего палеолита*. Лаухин С.А.	8	86
Смоленск — главный город кривичей*	10	82
Сокровища сарматского кургана.		
Яблонский Л.Т.	8	59
Структура русского генофонда. Малырчук Б.А., Деренко М.В.	4	21
Таинственный архипелаг в Финском заливе.		
Глазкова Е.А., Глазков П.Б.	1	55

АПРЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТАТИВ

А кто самый большой? Минералогическая сказка.

Расцветаева Р.К.	4	41
Химия: дорога к славе. Левицкий М.М.	4	37
Эволюция мифозоев. Иванова-Казас О.М.	4	31

БИОГРАФИЯ СОВРЕМЕННОГО

«С головой ученого и душой художника».

К 100-летию К.А.Бродского. Степаньянц С.Д.	9	67
---	---	----

В КОНЦЕ НОМЕРА

Минералогическая коллекция Александра I в Лозаннском музее. Минина Е.Л.	5	93
Мрачное очарование «Гиперболоида...».		
Борисов В.П.	4	94
Музей истории Земли. Наумов Г.Б.	10	91
Небесный корабль. Кузьмин А.В.	8	94
Почему медведи не любят фотографов.		
Баскин Л.М.	12	84
Свидетельства очевидца ¹ . Федин К.А.	11	93
Скалы Восьмого марта, или Женские имена на карте Антарктики. Преображенская М.А., Саватюгин Л.М.	3	89

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

Древний колодец в Чуфут-Кале. Супруненко Ю.П.	7	69
На плато сейдов Кольского полуострова. Мизин В.Г.	8	51

Под дождем в полярную ночь на Айновых островах.

Кавцевич Н.Н., Матишов Г.Г., Кондаков А.А.	7	74
Репортаж из-под ледового купола.		
Сагалевич А.М.	10	50
Родники на водосборе Ивановского водохранилища.		
Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.	2	66
Сокровища сарматского кургана.		
Яблонский Л.Т.	8	59

ВОЗВРАЩЕНИЕ

«В Каноссу!», или Как Сергей Чахотин вернулся на родину. **Сорокина М.Ю.**

3 69

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

«Второй Кронштадт». **Стародубцев В.М.,**

Супруненко Ю.П.	9	91
Д.И.Менделеев — почетный член Академии художеств.		
Закгейм А.Ю.	2	91
История одной защиты. Болотовский Б.М.	7	90
Строительской помещик Н.Н.Смецкой. Малых Н.И.	6	92
«Природные» старости	1	80

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Жар-птичка. Корсун О.В.	4	56
На глухарином току. Булавицев В.И.	3	49
Страна водопадов. Уфимцев Г.Ф.	9	76
Три дня с дрофой наедине. Булавицев В.И.	5	36

КОРОТКО

1 22, 79; 2 51; 3 65; 4 20, 47; 5 54, 65, 70; 6 35, 43; 7 28, 37, 45; 8 44, 58, 78; 9 9, 40, 46; 10 49, 66, 75; 11 21, 48, 62; 12 52, 60

ЛЕКТОРИЙ

Глобусы: второе рождение. Берлянт А.М.	8	19
О магнитоэлектричестве, которое не описывается уравнениями Максвелла. Куркин М.И., Бакулина Н.Б.	11	13

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Гении мимикрии. Бенедиктов А.А.	6	33
Динозавры Сахалина и Японских островов.		
Алифанов В.Р.	5	29
К истокам древних московских улиц. Панова Т.Д.	7	55
Китовый хребет: календарь событий кайнозоя.		
208-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн». Басов И.А., Рубаник Н.К.	5	68
Комета Макнота. Сурдин В.Г.	6	31
Левантский коридор — этапы первоначального расселения человечества. Лаухин С.А.	9	59
Палеолимнологические исследования в Крыму.		
Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Столба В.Ф.	12	61
Плато Демерара — свидетель древней истории тропической Атлантики.		
207-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн». Басов И.А., Рубаник Н.К.	3	66
Трансарктический дрейф «Тары». Бурлаков Ю.К.	4	59
Уникальные кадры. Флоренский П.В.	1	38
Цунами в глубине Кольского полуострова?		
Никонов А.А.	1	35
Юрибейский мамонтонок. Бурлаков Ю.К.	11	49

¹ Вступление и публикация А.А.Никонова.

НАСЛЕДИЕ

Вспоминая Павла Евгеньевича Рубинина.		
Капица Е.Л.	6	66
Капица в моих старых записных книжках.		
Рубинин П.Е.	6	71
Встреча с Россией ⁴ . Гольдшмидт Р.	9	63
ЩЕДРАЯ И ОБАЯТЕЛЬНАЯ НАТУРА Н.И.ВАВИЛОВА		
К 120-летию со дня рождения	11	63
Памяти друга. Неизвестные тексты Н.И.Вавилова	11	64
Черновик письма в Совнарком от 18 января 1929 г.	11	67
Выступление и заключительное слово Н.И.Вавилова на траурном заседании, посвященном памяти Г.С.Зайцева ⁵	11	68
«Святая святых души» Вишнякова М.А.	11	75
Давняя весть из Ла-Паса. Уфимцев Г.Ф.	11	83

НЕКРОЛОГ

Жизнь, посвященная океану.		
Памяти М.Е.Виноградова	8	79

НОВЫЕ КНИГИ

1 95; 2 89; 3 88; 4 93; 5 92; 6 90; 7 89; 8 91; 9 89;
10 89; 11 91; 12 82

⁴ Перевод С.В.Чудова.

⁵ Вступление, публикация и примечания М.Г.Зайцевой и Я.Г.Рокитянского.

РЕЗОНАНС

Досадный перекоп Нобелевской премии.		
Левицкий М.М.	5	66
Статья о статьях. Шкроб А.М.	11	52

РЕЦЕНЗИИ

«Ботанизирование с Линнеусом в ботанике».		
Сытин А.К.	5	88
Бумеранг судьбы Олега Гребенщикова.		
Миркин Б.М., Розенберг Г.С.	3	84
«Внукам памятная весть». Корякин В.С.	2	86
Маленькие книжки о большой Вселенной.		
Тоточава А.Г.	9	85
Неживая старина. Симонов Р.А.	8	88
«Нобелевская» автобиография.		
Копаев Ю.В.	1	92
Ноосфера в Дурновском переулке.		
Аксенов Г.П.	10	84
Одиссея Давида Арманда. Зубрева М.Ю.	12	79
Полевой дневник эпохи. Островский А.Н.	11	89
Символы времени. Шноль С.Э.	6	88
Трижды эталон. Блох А.М.	7	86
Физика плазмы глазами одного из ее основоположников. Михайловский А.Б.	4	89
Хроническая риторика.		
Кутателадзе С.С.	1	93
Человек, его предки и дублиры. Сурдин В.Г.	2	82

Авторский указатель за 2007 год

А ксенов Г.П.	10	84		3	78	Закгейм А.Ю.	2	91
Акципетров О.А.	1	27		4	85	Захаров И.А.		
Александрова М.А.	10	18		8	81	(Каштанов С.Н., Каштанова С.В.)	11	44
Алиева И.Б. (Узбеков Р.Э.*)	5	3		10	76	Захаров И.А.		
Алифанов В.Р.	2	79	Викторов А.Г.	2	76	(Шайкевич Е.В., Ившин Н.В.)	9	3
			Виноградов В.И.	11	22	Захарова Л.А.	10	23
Амирханов Х.А.	4	62	Вишнякова М.А.	11	75	Зекцер И.С. (Каримова О.А.)	9	28
Анисимов В.Н.	2	52	Володин И.А.			Зильберман П.Е.		
	7	3	(Володина Е.В., Кленова А.В.)	2	23	(Гуляев Ю.В., Эпштейн Э.М.)	5	20
Ахметьева Н.П.			Володина Е.В.			Зубкова Н.В.		
(Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.)	2	66	(Володин И.А., Кленова А.В.)	2	23	(Пушаровский Д.Ю.)	8	11
			Вольнский А.Л.	9	10	Зубрева М.Ю.	10	81
			Воронов А.Н.	6	44		12	79
Б абошкина С.В.			Г армс А.И. (Литвинов Ю.Н.)	12	42	И ванова-Казас О.М.	4	31
(Горбачев И.В., Пузанов А.В.)	3	60	Гиляров А.М.	4	86	Ившин Н.В.		
Баклушинская И.Ю.	10	29		11	29	(Захаров И.А., Шайкевич Е.В.)	9	3
Бакулина Н.Б. (Куркин М.И.)	11	13	Глазков П.Б. (Глазкова Е.А.)	1	55			
Баскин Л.М.	12	84	Глазкова Е.А. (Глазков П.Б.)	1	55	К авцевич Н.Н.		
Басов И.А. (Рубаник Н.К.)	3	66	Голиков Ю.П.	10	67	(Матишов Г.Г., Кондаков А.А.)	7	74
	5	68	Голицын Г.С.	6	61	Капица Е.Л.	6	66
Белянова Л.П.	10	81	Гольдшмидт Р.	9	63	Каримова О.А. (Зекцер И.С.)	9	28
	11	87	Горбачев И.В.			Кароль И.Л. (Киселев А.А.)	5	40
Бенедиктов А.А.	6	33	(Бабошкина С.В., Пузанов А.В.)	3	60	Каштанов С.Н.		
Беньковская Г.В.			Горбунов Л.М.	4	11	(Захаров И.А., Каштанова С.В.)	11	44
(Никоноров Ю.М., Удалов М.Б.)	4	88	Горелик Г.Е.	7	59	Каштанова С.В.		
Берлянт А.М.	8	19	Гуляев Ю.В.			(Захаров И.А., Каштанов С.Н.)	11	44
Бескин В.С.	8	29	(Зильберман П.Е., Эпштейн Э.М.)	5	20	Кизильштейн Л.Я.	1	49
Биляченко А.Н. (Левицкий М.М.,			Д еренко М.В. (Малярчук Б.А.)	4	21	Кикингер Р.		
Рабкина А.Ю.)	3	41	Деришев Е.В. (Железняков В.В.,			(Островский А.Н.)	4	48
Блох А.М.	7	86	Корягин С.А., Кочаровский Вл.В.)	3	4	Киселев А.А. (Кароль И.Л.)	5	40
Болотовский Б.М.	7	90	Добровольский Г.В.			Киселев Ф.Л. (Боринская С.А.)	3	52
Болотовский Б.М. (Ратнер Б.С.)	4	74	(Федотов Г.Н.)	7	38	Кленов М.С.	1	76
Бондаренко А.Л. (Жмур В.В.)	7	29	Домацацкая Е.И.			Кленова А.В.		
Боринская С.А. (Киселев Ф.Л.)	3	52	(Паюшина О.В., Старостин В.И.)	10	8	(Володин И.А., Володина Е.В.)	2	23
Борисов В.П.	4	94	Е мец В.М.	9	82	Козлов А.И.	8	45
Бородин П.М.	1	14	Еремин В.В.	11	38	Кондаков А.А.		
Боруцкий Б.Е.	2	5	Ермолов П.Ф.			(Кавцевич Н.Н., Матишов Г.Г.)	7	74
Бочкарев Н.Г.	12	44	(Кубаровский А.В., Никитин В.А.)	7	11	Кобаев Ю.В.	1	92
Булавинцев В.И.	3	49	Ж данова Н.С.	6	18	Корсун О.В.	4	56
	5	36	Железняков В.В. (Деришев Е.В.,			Корягин С.А.		
Бурлаков Ю.К.	3	83	Корягин С.А., Кочаровский Вл.В.)	3	4	(Деришев Е.В., Железняков В.В.,		
	4	59	Жмур В.В. (Бондаренко А.Л.)	7	29	Кочаровский Вл.В.)	3	4
	11	49	З абаринская Л.П.			Корякин В.С.	2	86
Бурштейн Е.Ф.	7	46	(Родников А.Г., Сергеева Н.А.)	10	58	Котляков В.М. (Саруханян Э.И.)	3	34
						Кочаровский Вл.В. (Деришев Е.В.,		
В ершинин А.В.	9	21				Железняков В.В., Корягин С.А.)	3	4
Вибе Д.З.	2	74				Кочетов А.В.	6	25
						Кременцов Н.Л.	5	71

* Здесь и далее в скобках указаны соавторы.

Кубаровский А.В.		Пелиновский Е.Н. (Слюняев А.В.)	3 14	Степаньянц С.Д.	9 67
(Ермолов П.Ф., Никитин В.А.)	7 11	Поляновский О.Л.	1 72	Степаньянц С.Д.	
Кудряшова В.В.		Померанец К.С.	7 83	(Мамкаев Ю.В.)	8 63
(Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е.)	2 66		8 85	Столба В.Ф.	
Кузьмин А.В.	8 94	Понякина И.Д. (Лебедев К.А.)	7 20	(Сапелко Т.В., Субетто Д.А.)	12 61
Куркин М.И. (Бакулина Н.Б.)	11 13	Попова О.Н.	12 16	Субетто Д.А.	
Кутателадзе С.С.	1 93	Потапов М.А.	12 37	(Сапелко Т.В., Столба В.Ф.)	12 61
		Преображенская М.А.		Супруненко Ю.П.	7 69
Лапина Е.Е.		(Саватюгин Л.М.)	3 89	Супруненко Ю.П.	
(Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В.)	2 66	Пузанов А.В.		(Стародубцев В.М.)	9 91
Лаухин С.А.	8 86	(Бабошкина С.В., Горбачев И.В.)	3 60	Сурдин В.Г.	2 82
	9 59	Пушаровский Д.Ю. (Зубкова Н.В.)	8 11		6 31
Лебедев К.А. (Понякина И.Д.)	7 20				7 79
Лебедев О.А.	6 86	Рабинович И.И.	2 80		9 80
Лебедев С.Г.	8 38	Рабкина А.Ю.			10 38
Левицкий М.М.	4 37	(Левицкий М.М., Биляченко А.Н.)	3 41	Сытин А.К.	5 88
	5 66	Равкин Ю.С.	12 17		
Левицкий М.М.		Разин С.В.	5 13	Талалай П.Г.	6 36
(Рабкина А.Ю., Биляченко А.Н.)	3 41	Расцветаева Р.К.	4 41	Тоточава А.Г.	9 85
Леонюк Н.И.	12 53	Ратнер Б.С. (Болотовский Б.М.)	4 74	Трахтенгерц В.Ю. (Мареев Е.А.)	3 24
Литвинов Ю.Н. (Гармс А.И.)	12 42	Резникова Ж.И.	12 25	Трофимова Е.В.	5 47
		Ритус В.И.	7 67	Трубников Б.А.	4 68
Малахов В.В.	8 74	Родников А.Г. (Сергеева Н.А.,		Трут Л.Н.	6 11
Малых Н.И.	6 92	Забаринская Л.П.)	10 58	Удалов М.Б. (Никоноров Ю.М.,	
Малярчук Б.А. (Деренко М.В.)	4 21	Розанов Н.Н.	6 51	Беньковская Г.В.)	4 88
Мамкаев Ю.В. (Степаньянц С.Д.)	8 63	Розенберг Г.С. (Миркин Б.М.)	3 84	Узбеков Р.Э. (Алиева И.Б.)	5 3
Мареев Е.А. (Трахтенгерц В.Ю.)	3 24	Рубаник Н.К. (Басов И.А.)	3 66	Уфимцев Г.Ф.	9 76
Матишов Г.Г.			5 68		11 83
(Кавцевич Н.Н., Кондаков А.А.)	7 74	Рубинин П.Е.	6 71		
Мизин В.Г.	8 51	Рубцов Н.Б.	8 3	Фащук Д.Я.	11 3
Минина Е.Л.	5 93	Румянцева С.А.	6 83	Фащук Д.Я. (Муравьев В.Б.)	2 42
Миркин Б.М. (Розенберг Г.С.)	3 84		7 81	Федин К.А.	11 93
Михайловский А.Б.	4 89	Саватюгин Л.М.		Федотов Г.Н.	
Мордкович В.Г.	12 10	(Преображенская М.А.)	3 89	(Добровольский Г.В.)	7 38
Муравьев В.Б. (Фащук Д.Я.)	2 42	Сагалевич А.М.	10 50	Флоренский П.В.	1 38
		Сажин М.В. (Хованская О.С.)	1 67	Харитонов А.Ю.	12 4
Наугольных С.В.	5 55	Сапелко Т.В.		Хлебович В.В.	2 61
Наумов Г.Б.	10 91	(Субетто Д.А., Столба В.Ф.)	12 61	Хованская О.С. (Сажин М.В.)	1 67
Никитин В.А.		Саруханиян Э.И. (Котляков В.М.)	3 34		
(Ермолов П.Ф., Кубаровский А.В.)	7 11	Семенов Д.В.	2 75	Чернышев А.В.	5 85
Никоноров А.А.	1 35		3 81		6 85
	5 60		7 83	Чернявский Е.Б.	1 40
	7 84		11 86	Чичагов В.П.	2 32
	9 33		12 75		
Никоноров Ю.М.		Сенников А.Г.	12 63	Шайкевич Е.В.	
(Беньковская Г.В., Удалов М.Б.)	4 88	Сергеев М.Г.	12 35	(Захаров И.А., Ившин Н.В.)	9 3
		Сергеева Н.А. (Родников А.Г.,		Широкова В.А.	5 31
Озернюк Н.Д.	10 4	Забаринская Л.П.)	10 58	Шкроб А.М.	11 52
Орден К.ван (Паклина Н.В.)	5 28	Сильченко О.К.	2 15	Шноль С.Э.	6 88
Орлов А.М.	4 52	Симонов Р.А.	8 88	Шумный В.К.	6 4
Осипов Д.О. (Панова Т.Д.)	12 78	Скворцов А.К.	4 3	Шутова М.В.	5 85
Островский А.Н.	11 89	Слюняев А.В. (Пелиновский Е.Н.)	3 14		
Островский А.Н. (Кикингер Р.)	4 48	Сомов Б.В.	10 40	Эпштейн Э.М.	
		Сорокина М.Ю.	3 69	(Гуляев Ю.В., Зильберман П.Е.)	5 20
		Стародубцев В.М.			
Паклина Н.В. (Орден К.ван)	5 28	(Супруненко Ю.П.)	9 91	Яблонский Л.Т.	8 59
Панова Т.Д.	6 87	Старостин В.И. (Домарацкая Е.И.,		Ядрёнкина Е.Н.	12 24
	7 55	Паюшина О.В.)	10 8	Ярошевский А.А.	1 23
Панова Т.Д. (Осипов Д.О.)	12 78				
Паюшина О.В. (Домарацкая Е.И.,					
Старостин В.И.)	10 8				

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
М.В.КУТКИНА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.11.2007
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 781
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6