

ВЕСТНИК

**МОСКОВСКОГО ГОРОДСКОГО
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**СЕРИЯ
«ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ»**

№ 4 (20)

**Издается с 2008 года
Выходит 4 раза в год**

**Москва
2015**

VESTNIK

MOSCOW CITY UNIVERSITY

SCIENTIFIC JOURNAL

NATURAL SCIENCES

№ 4 (20)

Published since 2008

Quarterly

Moscow

2015

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

- Реморенко И.М.** ректор ГАОУ ВО МГПУ, кандидат педагогических наук, доцент, председатель почетный работник общего образования Российской Федерации
- Рябов В.В.** президент ГАОУ ВО МГПУ, доктор исторических наук, профессор, заместитель председателя член-корреспондент РАО
- Геворкян Е.Н.** первый проректор ГАОУ ВО МГПУ, доктор экономических наук, заместитель председателя профессор, академик РАО
- Гринишкун В.В.** проректор по программам развития и международной деятельности ГАОУ ВО МГПУ, доктор педагогических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- Шульгина О.В.** заведующая кафедрой географии Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, доктор исторических наук, кандидат географических наук, профессор
главный редактор
- Мапельман В.М.** заведующая кафедрой безопасности жизнедеятельности и прикладных технологий Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, доктор философских наук, профессор, академик РАЕН, почетный работник высшего профессионального образования России
- Бубнов В.А.** заведующий кафедрой естественно-научных дисциплин Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии информатизации образования
- Зверев О.М.** доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и прикладных технологий Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, кандидат химических наук
- Резанов А.Г.** профессор кафедры биологии, экологии и методики обучения биологии Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, доктор биологических наук
- Родионов В.А.** директор Педагогического института физической культуры и спорта ГАОУ ВО МГПУ, доктор педагогических наук, профессор, член-корреспондент Международной академии наук педагогического образования
- Луговской А.М.** профессор кафедры географии Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, доктор географических наук, кандидат биологических наук, профессор
- Суматохин С.В.** заведующий кафедрой биологии, экологии и методики обучения биологии Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, доктор педагогических наук, профессор
- Чельницкая С.М.** заведующая кафедрой медико-биологических дисциплин Педагогического института физической культуры и спорта, доктор медицинских наук, профессор

Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

СОДЕРЖАНИЕ

Актуальные проблемы естествознания

- Напрасников А.Т., Дмитриева В.Т.* Физико-географический процесс в методологии познания географии, гидрологии и рационального природопользования 9
- Бубнов В.А.* О газодинамических течениях идеального газа..... 25
- Бубнов В.А.* Об уравнении неразрывности в гидродинамике..... 38

Науки о Земле и живой природе

- Резанов А.Г.* Зимовка кряквы *Anas platyrhynchos* на Москве-реке в музее-заповеднике Коломенское в период с 1984 по 2015 годы..... 50
- Фадеева Е.О.* Диагностические возможности контурного пера птиц на основе его микроструктуры 67
- Фадеева Е.О.* Видоспецифические особенности тонкого строения дефинитивного контурного пера обыкновенной сипухи (*Tyto alba* Scopoli, 1769) 78
- Кручинина А.Д.* Активность пептидил-дипептидазы *A* в отделах мозга крыс при однократном введении флуоксетина 85

Человек и среда его обитания

- Соловьёва О.В.* Митилидный биофильтр крупного гидротехнического сооружения в акватории севастопольской бухты (Чёрное море) 92

Естествознание в системе межнаучных связей

- Брылёва А.А.* Экологические тропы городов Подмосковья: проблемы и пути решения 99

Теория и методика естественно-научного образования

- Суматовхин С.В., Ионина Н.Г.* Программа профессиональной ориентации учащихся по биологии в рамках ФГОС основного общего образования..... 103
- Мельникова-Поддубная М.А.* Развитие коммуникативных умений у старших школьников на уроках географии..... 111

На книжной полке

- Мапельман В.М.* Рецензия на программу по курсу «Естествознание» для 10–11 классов общеобразовательных учреждений 115

Авторы «Вестника МГПУ», серия «Естественные науки», 2015, № 4 (20)..... 121

- Требования к оформлению статей..... 125**

CONTENTS

Topical Problems of Natural Sciences

- Naprasnikov A.T., Dmitrieva V.T.* Physical and Geographical Process in the Methodology of Knowledge of Geography, Hydrology and Rational Nature Management 9
- Bubnov V.A.* On the Gas-dynamic Flow of an Ideal Gas..... 25
- Bubnov V.A.* On the Equation of Continuity in Hydrodynamics 38

Sciences about Earth and Wildlife

- Rezanov A.G.* The Wintering of Mallard *Anas platyrhynchos* on Moskva River in Museum-reserve «Kolomenskoe» in the Period from 1984 to 2015 Years..... 50
- Fadeeva E.O.* Diagnostic Possibilities of the Birds Contour Feather on the Basis of its Microstructure 67
- Fadeeva E.O.* Species-specific Peculiarities of Fine Structure of the Definitive Contour Feather of the Common Barn Owl (*Tyto alba* Scopoli, 1769)..... 78
- Kruchinina A.D.* Activity of Peptidyl-dipeptidase *A* in the Brain Regions of Rats after a Single Administration of Fluoxetine 85

Man and his environment

- Soloviova O.V.* Biofilter from Mytilidae on the Large Hydrotechnical Structure of Sevastopol Water Area (Black Sea)..... 92

Natural Science in the System of Interscience Links

- Bryleva A.A.* Ecological Trails of Cities of the Moscow Region: Problems and Ways of Solution 99

Theory and Methods of Natural Sciences Education

- Sumatohin S.V., Ionina N.G.* The Program of Professional Orientation of Students in Biology within the Framework of FSS of Basic General Education..... 103
- Melnikova-Poddubnaya M.A.* The Development of Communicative Skills of High School Students in Geography Lessons 111

On the Bookshelf

- Mapelman V.M.* Review of the program of the course «Natural science» for 10–11 Forms of Institutions of General Education..... 115

MCU Vestnik. Series «Natural Science» / Authors, 2015, № 4 (20)..... 121

Style Sheet..... 125

Метод важнее открытия, ибо правильный метод исследования приведет к новым, еще более ценным открытиям.

Лев Давидович Ландау,
советский физик-теоретик

Проводить фундаментальные исследования — примерно то же самое, что пускать стрелу в воздух и там, где она упадет, рисовать мишень.

Эдгар Хоумер Адкинз,
американский ученый

В прошлом (и даже в настоящее время) история науки нередко составлялась так, как будто это просто история построения идеального здания истины. Такая история может быть написана лишь в том случае, если пренебречь всеми социальными и материальными компонентами науки и тем самым свести науку к надуманной бессмысленности...

Джон Десмонд Бернал,
английский физик



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

**А.Т. Напрасников,
В.Т. Дмитриева**

Физико-географический процесс в методологии познания географии, гидрологии и рационального природопользования

В статье проанализирован физико-географический процесс с позиций его применимости в методологии познания гидрологических и экологических аспектов географии. На основе соотношения тепла и влаги раскрыта его роль в единении соответствующих балансов. Выявлены пространственно-временные критерии зависимости испаряемости (водного эквивалента радиационного баланса) и водопотребления культурных растений от средних месячных температур воздуха метеорологических станций Байкальского региона. Установлены их количественные параметры. Осуществлен краткий обзор эволюции природы и хозяйства с древних времен до наших дней. Предложен континуальный путь формирования природно-мелиоративных систем.

Ключевые слова: геосистема; физико-географический процесс; мелиоративное природопользование; взаимосвязь элементов водного и теплоэнергетического балансов.

Достижения, проблемы и задачи современной географии

Общие подходы к анализу географического процесса. Во все исторические времена деятельность человечества наиболее ярко выражена в аграрном природопользовании. Многие другие виды человеческой деятельности появились позже. Осуществлять поиск в них признаков физико-географического процесса не представляется возможным. В большинстве случаев приходится подтверждать его наличие в признаках исторического аграрного природопользования, которое существовало во все времена.

Впервые географо-гидрологический метод предложил в 1933 году В.Г. Глушков [5]. Он отмечал, что в гидрологии данный метод устанавливает связи вод с географическим ландшафтом, включая климат, геологию, геоморфологию, почвы и растительность. Основное назначение метода — изучать

воды как элемент географического ландшафта. Этот подход был реализован видным отечественным географом А.А. Григорьевым [6] при обосновании интенсивности физико-географического процесса.

В настоящее время мы располагаем представлением о физико-географическом процессе в трактовке А.А. Григорьева [6]. Исследователи этого направления считают сущность данного процесса более масштабным. Прежде всего, климатическое представление о процессе совершенно верное, как об оптимально-эквивалентном равенстве тепла и влаги. В действительности же оно несет общегеографическую сущность, объединяет и оптимизирует не только структуры водного и теплового балансов, но и все сферы географической оболочки, в том числе, и антропогенную.

Знания о процессе накапливались опытным путем в исследованиях природно-хозяйственных систем и их модификаций во временных срезах. Этапы формирования указанных систем характеризуются периодами времени и их продолжительностью. Поэтому географические знания и сами географические объекты отзываются на антропогенные изменения, меняющийся климат, социально-исторические переустройства своего времени и, соответственно, преобразуются.

Здесь следует помнить и реализовывать основное положение географии, обеспечивающее раскрытие сотворчества природы и человека. Так, географический закон континуальности, отражающий как бы подъем по ступеням к последующему совершенствованию природных систем, остается при этом фундаментом для будущего развития. На этом синтезе, едином каркасе прошлого, настоящего и будущего сформировались современные теоретические основы географии. Вместе с этим расширилось понятие «географический», которое включает не только масштабные пространственные и временные изменения всех природных объектов земной поверхности, но и их функционирование.

Огромным вкладом в географию явилось учение о геосистемах академика В.Б. Сочавы, как многоликого объекта географической оболочки, включающего естественные, общественные и природно-технические системы. Концепция геосистем объединяет, но не разделяет объекты земной поверхности. Все географические явления, в какой бы форме они ни выступали, принадлежат планете Земля, и именно этим определяются их основные признаки [24]. На данных положениях построен анализ эволюции природных и природно-технических систем. Особенно отметим значимость характерного времени любого ландшафта и природно-хозяйственной системы. Оно, как и пространство, разное для множества геосистем и за свое историческое время формирует собственные природные объекты.

Многие географы в развитии природных процессов главенствующее значение придают теплу и влаге. Это, безусловно, верно, но не стоит забывать и о других существенных процессах окружающей среды (химических, биологических, общеландшафтных и пр.) и человеческой деятельности, «кующих» совместно естественные и технические системы. Никакая географическая

система не может мыслиться без энергетического начала и необходимого условия физико-географического процесса — воды. Эти компоненты существеннее биоты или, по крайней мере, равноценны ей [24]. Любая форма человеческой деятельности значительно изменяет теплоэнергетику ландшафта, за этим следуют изменения интенсивности физико-географических процессов (климатических, ландшафтных, почвенных, пространственных).

Переход к рыночным отношениям коренным образом трансформировал методологию познания географии, ускорил внедрение в ее структуры экологических и экономических факторов, подходов рационализации природопользования. Возникла необходимость в создании совершенных природно-технических объектов, отвечающих современным знаниям сотворчества природы и человека, максимально приближенных к экологии ландшафта и экономически выгодных человеческой деятельности.

Нагрнувшее глобальное потепление поставило перед географами решение прогнозных задач в пространственно-временной оценке трансформации ландшафтов планеты, их эволюции и в конечном итоге в решении продовольственной проблемы населения планеты. География России начала приближаться к зарубежной прагматической схеме. Вместе с тем она не только сохранила лидирующие положения в теоретическом совершенствовании, но и продолжает обосновывать ее прогнозную эволюцию.

В.С. Преображенский с соавторами [22] довольно подробно обосновали каркас физико-географического процесса — стратегию естественно-исторических исследований и социофункционального анализа ландшафтов. В ряде последующих работ автор подвел итоги географическим исследованиям конца XX века отечественных и зарубежных ученых, определил значимость основных достижений в области географии. В это же время немецкий географ Э. Нееф [20] обосновал свое видение теоретических основ ландшафтоведения.

Итоги географических достижений подвел Ю.Г. Пузаченко, указывая, что физическая география к 1990-м годам сформировала четкие феноменологические представления об иерархической организации территории, о статической связи компонентов ландшафта, о соотношениях характерного пространства и времени процессов [23]. Подтверждением данного тезиса явилась система современных достижений в области отечественной теоретической географии.

Таким образом, формы развития физико-географического процесса, как и геоэкологии (рационального природопользования), оказались двуедиными — универсальными и специализированными. Первые отразили единое теоретическое совершенствование природных процессов, взаимодействие природы и хозяйства на основах фундаментальных научных знаний, вторые — ее многогранную специализацию, представленную множеством видов и способов рациональной практической деятельности человека. Эта двуединая сущность географии приобрела научно обоснованную теорию управления составляющими географической оболочки, в особенности ландшафтом в целом, его влагой, теплом и структурой почвы в целях решения проблем оптимизации природопользования.

Физико-географический процесс в системе природопользования (исторический аспект)

Аксиома физико-географического процесса в развитии природы и общества. География в любой исторический момент была готова отвечать на внешние вызовы, а ее научный потенциал, успешно сформированный под воздействием предшествующей практической деятельности человечества, успешно реализовывался. Наука и практика географии всегда формировались на представлениях об интенсивности физико-географического процесса, т.е. оптимальном взаимодействии природы и человека. В настоящее время под этим можно понимать комфортность человека в условиях окружающей среды.

Об интенсивности физико-географического процесса в исторические времена сложно говорить. Представления о нем отсутствовали, но это не значит, что в человеческой деятельности он не участвовал. Даже при наших современных представлениях о нем мы знаем мало и не имеем четких научных и практических суждений. Единственное, на что мы можем опираться, это на постоянные признаки, которые всегда сопровождали географический процесс. Отражены они в исторической литературе об оптимальном соответствии тепла и влаги, при котором наши предки получали высокие урожаи, о росте населения и соответствующем расширении пахотных земель, обеспечивающих их нормальное благосостояние, о быстром восстановлении хозяйств, разрушенных войной, о ликвидации процессов засоления почв. Поэтому аксиомой физико-географического процесса может быть положение, что во все периоды эволюции природы и хозяйства он реализовывался. Население планеты всегда оптимизировало среду своего развития и в этой связи произвольно использовало наиболее рациональные формы физико-географического процесса — получение максимальной биологической продуктивности своих полей, развитие мелиоративного природопользования. Таким образом, движущей силой природы и общества был физико-географический процесс, или по иному — сотворчество человека и природы. На их основах решались многие проблемы природопользования и в том числе физико-географического процесса.

От первобытной «ирригации без земледелия» до плужной мелиорации. Направленное и целевое взаимодействие между природой и обществом началось в период перехода от присваивающих форм хозяйств к производящим, когда охота на диких животных сменилась их приручением, а сбор дикорастущих злаков — искусственным культивированием. Подобный процесс доместикации английский археолог Г. Чайлд [25] назвал неолитической революцией. Начальные формы природопользования были «ирригацией без земледелия», т. е. когда естественные заросли злаковых и других съедобных растений зерновых культур увлажнялись примитивными приемами горно-ручьевого орошения [1]. 12–13 тысяч лет назад на территории «Благодатного полумесяца», охватывающего дугой Синайский полуостров и бассейны рек Тигра и Евфрата, сформировалась богатая зеленая луговая степь. Вначале люди

собирали съедобные колосья, потом стали сеять зерна. Из имитации природного размножения растений (разбрасывание семян по необработанной почве), сформировалась интенсивная форма современного агрометеорологического природопользования. Это было первичное осознанное сотворчество человека с вмещающим его ландшафтом. Во все последующие времена и до железного века главным орудием примитивной ирригации была палка-землекопалка и мотыга.

Широкомасштабная интенсификация земледелия началась с замены мотыги плугом примерно 4500–2500 лет до н.э. В последующие века у скота появилась тяговая и выючная функция. Благодаря пахоте земель запряженными в плуг быками, изобретению колесных повозок и дойке рогатого скота оптимизация природопользования улучшила качество жизни населения. Кроме поливных земель начали использовать и богарные уголья, увлажняемые только весенними водами. Завершилась, таким образом, примитивная доземледельческая стадия орошения у водных источников. Земледелие оторвалось от водных источников, вышло на широкий географический простор, ознаменовалось развитием богарного агрометеорологического природопользования.

Экстенсивная оптимизация аграрного природопользования новой эры. Процесс оптимизации представляет собой формирование и объединение новых непротиворечивых природных и общественных структур. Это, в общем, эволюционный исторический процесс. Так, начало внедрения в практику земледелия расширения площадей пахотных земель способствовало увеличению объема сельскохозяйственной продукции, сформировало масштабные аграрно-природные структуры. Сложившись в 4–3 тысячелетиях до н.э. на Древнем Востоке в недрах первобытнообщинного строя, оседлые земледельцы с их развитой ирригацией сыграли важную роль в становлении древнейших классовых обществ и государств [1]. Изобретение плуга обеспечило освоение залежных земель и удаление земледелия от водных источников. Сельскохозяйственное природопользование в основном стало масштабно-экстенсивным, когда в целях повышения дополнительной продукции стали осваивать новые целинные земли. Все это основывалось на предшествующем опыте сельскохозяйственного производства. Но этого уже было недостаточно, передовым древним цивилизациям потребовались географические, агрометеорологические и гидротехнические знания. Они постепенно совершенствовались и накапливались.

Экстенсивное, богарное земледелие Средневековья. Географические открытия, благодаря успехам науки и техники, позволили осваивать новые территории, на которых можно было бы производить сельскохозяйственную продукцию. Началось интенсивное освоение Северной и Южной Америки, Африки, Азиатского материка. Существенно в больших масштабах, чем прежде, на открытых землях начали совершенствовать агрометеорологическую оптимизацию, появилась необходимость в теоретическом обосновании рационального природопользования.

Зарождение интенсивно-промышленных форм природопользования. Для данной формы аграрного природопользования характерны минимальные экологические изменения естественных ландшафтов и почв. С зарождением капитализма у людей проявилось стремление к накоплению начального капитала, что стало важным этапом к переходу к более интенсивной форме всей хозяйственной деятельности и в том числе и к рациональному природопользованию. Экстенсивное природопользование превращалось в интенсивное. Так, появление гончарного дренажа относится к 1810-м годам. В 1846 году в Англии парламентским актом изобретение дренажной системы было признано национальным достоянием [9].

Индустриально-химический процесс земледелия XX века. Если рассматривать использование химических удобрений как стимулирующий и интенсифицирующий, в свою очередь, географический процесс, то в конце XX века антропогенное, преобладающее химическое аграрное природопользование, нанесло ему сокрушительный удар. Химизация — важнейший фактор интенсификации сельскохозяйственного производства. Увеличение продуктивности в 2–3 раза было достигнуто благодаря индустриализации сельского хозяйства. Однако в США в 1980-х гг. последствия чрезмерной химизации сельского хозяйства стали рассматриваться как катастрофические. Отравление химикатами ежегодно испытывают от 45 до 300 тысяч человек. Под воздействием новых технологий, технических приемов и методов, особенно в условиях орошения, обрабатываемые земли превращаются в особую питательную среду, биологическая жизнь которой отличается от естественной [26]. Понижение качества продуктивности полей и негативные экологические последствия явились следствием химизации, механизации, мелиорации, применения биотехнологий. В Европейском союзе, и особенно в Германии, в последние годы начали осуществлять комплекс мероприятий, направленных на переход от интенсивного сельского хозяйства к его выборочной экстенсификации, т. е. начал осуществляться поворот к естественному физико-географическому процессу. В целях нейтрализации негативных антропогенных процессов, отрицательно влияющих на развивающиеся формы хозяйств, была сформулирована концепция САРД (SARD concept — *Sustainable Agriculture and Rural Development*) — устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий. Ее фундаментом явилось «органическое» сельское хозяйство, которое избегает или исключает использование искусственных удобрений, пестицидов, регуляторов роста и химических кормовых добавок.

Итак, исторически физико-географический процесс совершенствовался с развитием культуры производительных сил, обеспечивал хозяйственную безопасность населения, накапливал опыт рационализации природопользования, формировал более совершенные природно-хозяйственные системы, создавал теоретические основы развития будущей географии.

Факторы, влияющие на физико-географический процесс в рациональном природопользовании

Главенствующие факторы, формирующие географический процесс. От древнего зарождения и до середины XIX века рациональное природопользование формировалось на традиционных приемах управления влагой, теплом и структурой почв, обеспечивающих максимальную продуктивность культурных растений. Единой мелиоративной концепции не было. Была лишь интуиция оптимальных соотношений между параметрами климата, почв и урожайностью возделываемых культур, которая и породила начальные знания о физико-географическом процессе. Его сущность сводится к утверждению, что оптимальная интенсивность процесса проявляется при эквивалентном равенстве космического тепла и планетарной влаги, при котором между структурами водного и теплового балансов естественно достигаются оптимальные соотношения, а биологическая продуктивность культурных растений является максимальной. Именно этот факт позволил теоретически определить «точку» отсчета норм орошения и осушения. На основе данной концепции М.И. Будыко [3] и В.С. Мезенцев [15–16] обосновали метод практического расчета влажности почв и определения их мелиоративных характеристик.

Критерий космического излучения, определяющий фазы увлажнения земной поверхности. Атмосферные осадки, превышающие водный эквивалент радиационного баланса, переувлажняют почвы. Водным эквивалентом радиационного баланса (E_0) является то количество воды, которое может испарить поступающее солнечное тепло. Определяется оно через удельную теплоту испарения (L), равную 600 кал, потраченную на испарение 1 см³ воды. Это равенство записывается в следующем виде:

$$E_0 = R / L = R / 0,06 \text{ мм.} \quad (1)$$

Планетарно-космический коэффициент увлажнения (β). Поступающие тепло и атмосферные осадки на ландшафтную поверхность физически взаимодействуют. Часть влаги испаряется, другая потребляется растениями, почвой и речным стоком. Соотношение атмосферных осадков (X) и испаряемости (E_0) отражает степень увлажнения приземной атмосферы и ландшафтной поверхности:

$$\beta = X / E_0. \quad (2)$$

Это универсальный и специализированный параметр, который используется в теоретических и практических обоснованиях. В аридных системах он меньше единицы, в гумидных — ее превышает.

Почвенно-гидрологическая константа увлажнения — наименьшая влагоемкость (НВ). Ее свойство состоит в том, чтобы удерживать максимальное количество почвенной влаги после ее длительного стекания. Универсальность НВ заключается в пограничном соотношении фаз почвенной влаги. Влага почв выше НВ формирует избыточное увлажнение, меньше НВ — почвы считаются сухими. В условиях влажности, равной НВ, обеспечивается

оптимальный режим увлажнения культурных растений, что и обеспечивает производство максимальной биологической продуктивности культурных растений. Общее выражение этих связей приведено в работах М.И. Будыко [3] и В.С. Мезенцева [16] и отражает взаимообусловленность атмосферного и почвенного увлажнения в следующих зависимостях:

$$V = r\sqrt{\beta} = r\sqrt{\frac{X}{E_0}}, \quad V = W_{в.п.} / W_{н.в.}, \quad (3)$$

где V — влажность почвы в долях наименьшей влагоемкости; r — параметр, равный для песчаных почв 1–1,5; супесчаных — 1,5–2, глинистых — 2–3; $W_{в.п.}$ — влажность почвы в мм; $W_{н.в.}$ — наименьшая влагоемкость почвы в мм. Уравнения (2) и (3) отражают фундаментальное свойство взаимосвязи приземного и почвенного увлажнения. Если увлажнение приземной атмосферы (2) и влажность почвы (3) приближаются к единице, к статистически-математическому ожиданию, то обеспечивается максимальная биологическая продуктивность культурных растений.

Биолого-климатический оптимум физико-географического процесса. Обычно данный процесс отражает статически осредненное значение множественных природных режимов оптимального уровня. На практике его значение приравнивают к единице, т. е. к эквивалентному равенству тепла и влаги. Однако в природе оно нарушается, так как является вероятностно-статистическим явлением. Подобный опыт отражают исследования А.С. Моторина и В.М. Калинина [17]. Рисунок 1 указывает на отклонения максимальной биологической продуктивности от оптимального соотношения тепла и влаги. На подобное явление указывали и Г.В. Белоненко с соавторами [2].



Рис. 1. Корреляция относительной урожайности многолетних трав в зависимости от влажности почв в долях наименьшей влагоемкости

Определение норм орошения и осушения. При анализе взаимодействия космического излучения и планетарного увлажнения равенство (2) можно записать в следующем виде:

$$X / E_0 = 1 \text{ или } E_0 - X = 0. \quad (4)$$

Это частный случай, отвечающий условиям оптимума физико-географического процесса, т. е. пограничный режим между влажными и сухими почвами. В мелиоративной практике он принимается за точку отсчета количественных значений норм орошения и осушения. Если осадков выпадает больше или меньше испаряемости, то в целях сохранения данного равенства следует добавить в почву или удалить из нее излишек влаги ($\pm \Delta X$), т. е. выполнить процесс осушения или орошения. В данном случае равенство (4) запишется в виде (5). Оно отражает управление физико-географическим процессом в природопользовании:

$$\Delta X = E_0 - X. \quad (5)$$

Физико-географический процесс во взаимосвязи водного и теплового балансов

Взаимосвязь водного и теплоэнергетического балансов. До начала XX века концепции водного и теплового балансов ландшафтной поверхности развивались обособленно, знания географии не обеспечивали их объединение. Лишь с появлением работ Э.М. Ольдекопа [21] была высказана мысль, что в структуры этих двух балансов следует вводить обобщающий показатель, формирующий совместно их структуры. В это же время наш отечественный географ А.А. Григорьев [6] обосновал концепцию оптимума физико-географического процесса, которая гласит, что его максимальная интенсивность достигается при эквивалентном равенстве тепла и влаги. Впоследствии М.И. Будыко [3] доказал, что таким критерием является испаряемость, — максимально возможное испарение с увлажненной поверхности, которое можно считать объединяющим началом водного и теплового балансов. При этих условиях биологическая продуктивность культурных растений оказывается самой большой. На основании данного положения В.С. Мезенцев [16] разработал метод гидролого-климатического расчета составляющих водного и теплового балансов и выразил его основное содержание уравнением (6):

$$E = E_0 [1 + \beta^{-n}]^{-1/n}, \quad (6)$$

где E — суммарное испарение с почвы; E_0 — испаряемость, представленная водным эквивалентом радиационного баланса из расчета, что на один грамм воды требуется испарить 600 кал.; β — коэффициент увлажнения, отражающий отношение осадков к испаряемости; n — энергетический индекс состояния окружающей среды, обеспечивающий взаимосвязь водного и теплового балансов.

Таким образом, взаимодействие балансов космического тепла и планетарной влаги определяют не только ресурсы климата, но и все теплоэнергетические ресурсы природных систем, их общее функционирование. Поэтому параметр n несет максимальную энергетическую функцию ландшафтов планеты, количественно выраженную испаряемостью (E_0).

Определение параметров гидролого-климатического процесса

Определение испаряемости за годовой период. Имеется много определенных испаряемости. М.И. Будыко, Л.И. Зубенок [4] считают, что она отражает максимальное испарение с увлажненной поверхности, когда нет ограничений в притоке влаги. Н.Н. Иванов [11] полагает, что она отражает испарение с водной поверхности. В.С. Мезенцев [15] приравнивает испаряемость к максимально возможному испарению и оценивает его как водный эквивалент радиационного баланса.

Обычно испаряемость (E_0) определяют через радиационный баланс, его годовую норму с вычетом отрицательного эффективного излучения холодного периода. В монографии Л.И. Зубенок [10] осуществлены сравнения точечных значений сумм температур выше $10\text{ }^\circ\text{C}$ с годовой испаряемостью, определенной комплексным методом (E_0 ком. м) и со значениями радиационного баланса увлажненной поверхности (E_0 ув. п). Нами для этих же многочисленных совокупностей точечных данных выявлены их тренды:

$$E_0 \text{ ув.п.} = 0,000012 \sum T^2 + 0,147 \sum T + 311, \quad (7)$$

$$E_0 \text{ ком.м.} = 0,00003 \sum T^2 + 0,107 \sum T + 260. \quad (8)$$

В.С. Мезенцев предложил вычислять испаряемость по формуле:

$$Z \text{ мез.} = 0,2 \sum T + 306. \quad (9)$$

Закономерности изменения испаряемости за внутригодовые периоды. Последующая задача сводилась к определению внутригодовой испаряемости, преобладающей по месяцам. Актуальность задачи заключалась в установлении равенства между испаряемостью за год по приведенным формулам и их сравнением с суммой за внутригодовые периоды, полученной иными методами. Подобными сравнениями оценивали достоверность выполненных расчетов и принятых методов расчета. При этом выявилось, что радиационный баланс и, соответственно, испаряемость за зимне-весенний период формируются с большими численными значениями при одних и тех же средних месячных температурах воздуха, чем в остальные времена года (см. рис. 2).

Эмпирическое определение испаряемости за внутригодовые периоды. В практике мелиоративного природопользования предложен ряд способов дробления годовых величин испаряемости в целях их принятия за внутригодовые периоды. И.В. Карнацевич решил эту проблему иначе, выразив зависимость максимальной испаряемости (Z Карн.) от суммы средних месячных температур воздуха выше $0\text{ }^\circ\text{C}$ (10) [12–13].

$$Z \text{ Карн.} = 7 \sum t \geq 0 + 160 \text{ (мм/год)}. \quad (10)$$

Уравнение (10) И.В. Карнацевича является методически верным только во внутригодовые периоды, когда прослеживается неоднозначное соответствие между температурами и испаряемостью.

Определение внутригодовой испаряемости за зимний период. Особую сложность составлял поиск положительных зимних значений радиационного

баланса за месячные интервалы в периоды так называемого «отрицательного баланса». Задача решалась следующим образом: информация испаряемости за летне-зимний период (VII–II месяцы) экстраполировалась на его нулевые значения, которые имеют место при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда преобладает конденсация паров воздуха, формируются холодные туманы и, видимо, полностью исключается процесс испарения. Общую схему приведенных доказательств иллюстрирует рисунок 2, на котором отражена достаточно надежная корреляция испаряемости со средними месячными температурами воздуха.

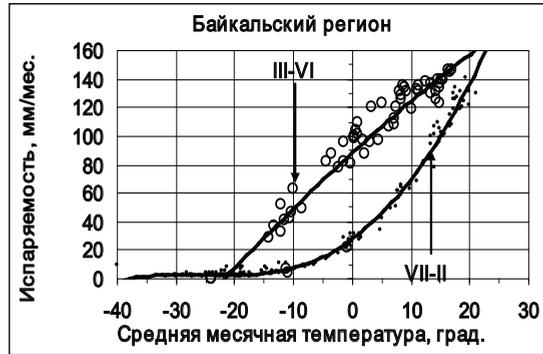


Рис. 2. Зависимость испаряемости от месячных температур воздуха по данным Байкальского региона

Таким образом, стало возможным устанавливать положительные затраты тепла на прогревание ландшафтной поверхности, определять испарение с нее в холодные времена года и рассчитывать испаряемость при отрицательных значениях радиационного баланса. По приведенным формулам (11) и (12) графика рисунка 2 за все внутригодовые месяцы была рассчитана испаряемость и приведена в работах [7; 8; 18; 19]. Так как переходные месяцы март и июнь получают разное астрономическое тепло, то следует определять их реальные потоки. В сумме они составляют $2/3$ начального месячного потока тепла (испаряемости) и $1/3$ — завершающего соответствующего потока в конце месяца.

$$E_0 \text{ (VII–II)} = -0,000009 x^4 + 0,0009 x^3 + 0,108 x^2 + 3,0073 x + 27,97, R^2 = 0,9798; \quad (11)$$

$$E_0 \text{ (III–VI)} = -0,0143 x^2 + 3,7442 x + 88,308; R^2 = 0,8975. \quad (12)$$

Водопотребление культурных растений

Экспериментальное определение мелиоративного водопотребления культурных растений. Следует сразу отметить, что мелиоративное (максимальное) водопотребление возделываемых культур формируется в условиях достаточного (оптимального) увлажнения почв, т. е. в условиях оптимального физико-географического процесса. Это максимальное суммарное испарение, фиксирующее отношение наибольшего испарения при оптимальном увлажнении почвы к испаряемости и не превышающее его, что теоретически

выявлено В.С. Мезенцевым [15]. Этим подчеркивается также, что имеется резерв тепла и на другие виды природных процессов. В ряде изданий отечественных и зарубежных ученых экспериментальные сведения подтверждают данный факт [3; 4; 10; 13; 14; 27].

В пределах Байкальского региона мы располагаем ограниченными данными этих исследователей. Однако и они обеспечивают достоверное сравнение непосредственных измерений на метеорологических станциях испаряемости — водный эквивалент радиационного баланса (E_0) — с экспериментальными значениями испаряемости (водопотребления) культурных растений, выявленными указанными исследователями (рис. 3 а, б).

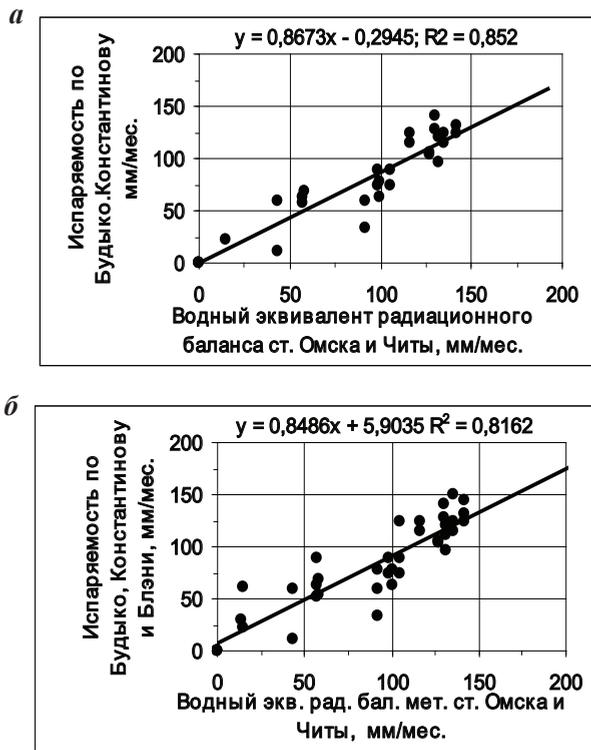


Рис. 3. Соотношение испаряемости (водопотребления) между опытными данными орошаемых полей и испаряемостью (водным эквивалентом радиационного баланса), определенной на метеорологических станциях:

а — по данным Будыко, Константинова; *б* — по данным Будыко, Константинова, Блэни

Расчет параметров водопотребления. При определении оптимального водопотребления культурных растений сравнивались данные уравнений (11) и (12), как осредненные на всю территорию Байкальского региона, с данными рассчитанными по формулам (7–10). При этом определялась также испаряемость только по формуле каждой отдельной станции, выведенной на основе ее измеренных данных.

Используемый нами радиационный баланс обычно называют остаточным. Его определяют в большинстве случаев через сумму температур, превышающих

10 °С. Такими корреляциями являются расчетные величины уравнений (7–10). Определенные по ним годовые суммы испаряемости (E_0) сравнили с измеренной и осредненной годовой суммой испаряемости за все месяцы на 17 метеорологических станциях Байкальского региона: Ербогачен, Ванавара, Енисейск, Мамакан, Братск, Байкальское, Хужир, Иркутск, Хомутово, Тулун, Чита, Борзя, Мангут, Хакасская, Омск, Хабаровск, Ильчир (см. табл.). Отношения данных уравнения (7) к измеренным составили 0,86, а сравнение с месячными суммами испаряемости, определенными за год по уравнениям (11) и (12) — 0,83. Подобное соотношение было выявлено и с учетом годовых рассчитанных данных по уравнению (8), которое составило 0,76 и 0,73. Сравнение расчетных данных по уравнению (9) В.С. Мезенцева показало соотношения 1,11 и 1,08.

Таким образом, суммарное испарение, определенное по формуле (7), в большей степени отражает водопотребление культурных растений. Его соотношение с измеренной испаряемостью составляет около 0,86, что подтверждается корреляциями на графиках, представленных на рисунке 3 и данными таблицы.

**Отношение испаряемости, рассчитанной по формулам,
к измеренной испаряемости на метеорологических станциях.
Определение гидролого-климатического параметра n**

Метеостанция	E_0 ув. п. / E_0 изм.	E_0 ком.м. / E_0 изм.	E_0 мез./ E_0 изм.	E_0 б.р. / E_0 изм.	E_0 м.с. / E_0 изм.	n E_0 ув.п.	n E_0 ком.м	n E_0 Мез.
Ербаченен	1,01	0,86	1,09	1,09	0,97		4,6	
Ванавара	0,95	0,82	1,03	1,09	0,95		3,49	
Енисейск	1,03	0,89	1,11	1,28	1,07		5,95	
Братск	0,95	0,84	1,03	1,09	1,05		3,98	
Мамакан	0,91	0,80	0,99	1,18	1,05		3,12	
Байкальск	0,66	0,55	0,71	0,87	1,01	1,60	1,2	0,87
Хужир	0,69	0,59	0,75	0,91	1,02	1,87	1,31	1,05
Иркутск	0,78	0,68	0,84	0,95	1,05	2,79	1,8	1,74
Хомутово	0,77	0,68	0,84	0,95	1,01	2,65	1,8	1,71
Тулун	0,87	0,76	0,95	1,09	1,04	4,98	2,53	5,45
Чита	0,85	0,76	0,92	1,03	1,02	4,26	2,53	3,79
Борзя	0,77	0,70	0,83	0,90	0,97	2,65	1,94	1,65
Мангут	0,76	0,68	0,83	0,93	1,02	2,53	1,8	1,57
Хакасская	0,86	0,78	0,93	1,03	1,04	4,60	2,79	4,22
Омск	0,96	0,88	1,04	1,11	1,04		5,42	
Хабаровск	0,92	0,87	0,98	1,06	1,06	8,31	4,98	
Ильчир	0,53	0,44	0,54	0,72	0,72	1,09	0,84	0,48
Ср. арифм.	0,84	0,74	0,91	1,02	1,01	3,39	2,95	2,25

Таким образом, анализ физико-географического процесса подтвердил его главенствующую роль в формировании естественных и природно-технических систем. Его общим индикатором является испаряемость, которая относительно средних месячных температур воздуха имеет разные периоды формирова-

ния: летне-зимний (VII–II) пониженных и зимне-весенний (III–VI) повышенных значений. Их сравнение с опытными данными показало, что формулы испаряемости увлажненной поверхности в большей степени соответствуют водопотреблению растений и могут быть использованы в мелиоративном природопользовании. Анализ единства водного и теплоэнергетического балансов показал, что их обобщающим параметром является испаряемость, определяемая на метеорологических станциях, или определенная по зависимостям (11) и (12), а также по формуле (9) В.С. Мезенцева. Осуществленный анализ водных и тепловых составляющих ландшафта подтвердил, что они формируются по законам развития оптимума физико-географического процесса.

Литература

1. Андрианов Б.В. Земледелие наших предков. М.: Наука, 1978. 166 с.
2. Белоненко Г.В., Попова Н.Б., Тусунбеков Ж.А. Эколого-географические условия транспортного освоения Западной Сибири. Новосибирск: СГУПС, 2012. 266 с.
3. Будыко М.И. Об определении испарения с поверхности суши // Метеорология и гидрология. 1955. № 1. С. 52–58.
4. Будыко М.И., Зубенко Л.И. Определение испарения с поверхности суши // Известия АН СССР. Серия география. 1961. № 1. С. 3–17.
5. Глушков В.Г. Географо-гидрологический метод // Вопросы теории и методы гидрологических исследований. М., 1961. С. 70–76.
6. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды // Избранные теоретические работы. М.: Мысль, 1966. 382 с.
7. Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т. Географические и климатические факторы комфортности территории Восточного Забайкалья // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2008. № 1. С. 15–24.
8. Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т. Геотопологические системы увлажнения и теплообеспеченности Байкальского региона и Монголии // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2011. № 1 (7). С. 35–44.
9. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. М: МГУ, 1996. 384 с.
10. Зубенко Л.И. Испарение на континентах. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 264 с.
11. Иванов Н.Н. Мировая карта испаряемости. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 38 с.
12. Карнацевич И.В. Расчеты тепловых и водных ресурсов малых речных водосборов на территории Сибири // Труды Омск. с.-х ин-та. Омск, 1991. 81 с.
13. Карнацевич И.В., Мезенцева О.В., Тусунбеков Ж.А., Бикбулатова Г.Г. Возобновляемые ресурсы теплообеспеченности Западно-Сибирской равнины и динамика их характеристик. Омск: ОмГАУ, 2007. 268 с.
14. Константинов А.Р. Испарение в природе. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 532 с.
15. Мезенцев В.С. Метод гидролого-климатических расчетов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности // Тр. Омского сельхоз. ин-та. 1957. Т. XXVII. 121 с.
16. Мезенцев В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Омск: ОмСХИ, 1982. 80 с.
17. Моторин А.С., Калинин В.М. Режим осушения среднемощных низинных торфяников Тюменской области под кормовые культуры // Мелиорация земель Сибири и Дальнего Востока. М.: Агропромиздат, 1985. С. 12–17.

18. *Напрасников А.Т.* Критерии бинарной оценки гидролого-климатической устойчивости геосистем // География и природные ресурсы. 2002. № 3. С. 18–27.
19. *Напрасников А.Т., Лопатовская О.Г.* Практикум по курсу «Мелиорация почв». Иркутск: ИГУ, 2014. 135 с.
20. *Нееф Э.* Теоретические основы ландшафтоведения. М.: Прогресс, 1974. 219 с.
21. *Ольдекоп Э.М.* Об испарении с поверхности речных бассейнов // Сб. тр. Метеоролог. обсерв. импер. Юрьевского ун-та. 1911. Т. IV. 209 с.
22. *Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.Н.* Основы ландшафтного анализа. М.: Наука, 1988. 192 с.
23. *Пузаченко Ю.Г.* Методологические основы измерения сложности ландшафта // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 4. С. 30–50.
24. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
25. *Чайлд Г.* Древнейший Восток в свете новых раскопок: пер с англ. М.: Иностранная литература, 1956. 345 с.
26. *Черняков Б.А., Шевлягина Е.А.* США: индустриализация сельского хозяйства, экологические последствия — проблемы перехода к САРД // Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: зарубежный опыт и проблемы России. М.: КМК, 2005. С. 118–152.
27. *Blaney H.F., Criddle W.D.* Determining water requirements in irrigated areas from climatologic and irrigation data. U. S. Dept. Agris Soil Cons. Serv. Techn., 1958. P. 96–98.

Literatura

1. *Andrianov B.V.* Zemledelie nashix predkov. М.: Nauka, 1978. 166 s.
2. *Belonenko G.V., Popova N.B., Tusunbekov Zh.A.* Эколого-географические условия транспортного освоения Западной Сибири. Новосибирск: SGUPСа, 2012. 266 s.
3. *Budy'ko M.I.* Ob opredelenii ispareniya s poverxnosti sushi // Meteorologiya i gidrologiya. 1955. № 1. S. 52–58.
4. *Budy'ko M.I., Zubenok L.I.* Opredelenie ispareniya s poverxnosti sushi // Izvestiya AN SSSR. Seriya geografiya. 1961. № 1. S. 3–17.
5. *Glushkov V.G.* Geografo-gidrologicheskij metod // Voprosy' teorii i metody' gidrologicheskix issledovanij. М., 1961. S. 70–76.
6. *Grigor'ev A.A.* Zakonomernosti stroeniya i razvitiya geograficheskoy sredy' // Izbranny'e teoreticheskie raboty'. М.: My'sl', 1966. 382 s.
7. *Dmitrieva V.T., Naprasnikov A.T.* Географические и климатические факторы комфорта территории Восточного Забайкалья // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2008. № 1. S. 15–24.
8. *Dmitrieva V.T., Naprasnikov A.T.* Геотопологические системы увлажнения и теплоспешенности Байкальского региона и Монголии // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2011. № 1 (7). S. 35–44.
9. *Zajdel'man F.R.* Melioraciya pochv. М: MGU, 1996. 384 s.
10. *Zubenok L.I.* Испарение на континентах. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 264 s.
11. *Ivanov N.N.* Mirovaya karta isparyaemosti. Л.: Гидрометеоздат, 1957. 38 s.
12. *Karnacevich I.V.* Raschety' teplovy'x i vodny'x resursov малы'x rechny'x vodosborov na territorii Sibiri // Trudy' Omsk. s.-x in-ta. Omsk, 1991. 81 s.
13. *Karnacevich I.V., Mezenceva O.V., Tusunbekov Zh.A., Bikbulatova G.G.* Vozobnovlyaemy'e resursy' teplovlagoobespechennosti Zapadno-Sibirskoj ravniny' i dinamika ix karakteristik. Omsk: OmGAU, 2007. 268 s.

14. *Konstantinov A.R.* Isparenie v prirode. L.: Gidrometeoizdat, 1968. 532 s.
15. *Mezencev V.S.* Metod gidrologo-klimaticheskix raschetov i opy't ego primeneniya dlya rajonirovaniya Zapadno-Sibirskoj ravniny' po priznakam uvlazhneniya i teploobespechennosti // Tr. Omskogo sel'hoz. in-ta. 1957. T. XXVII. 121 s.
16. *Mezencev V.S.* Gidrologicheskie raschety' v meliorativny'x celyax. Omsk: OmSXI, 1982. 80 s.
17. *Motorin A.S., Kalinin V.M.* Rezhim osusheniya srednemoshhny'x niziny'x torfyanikov Tyumenskoj oblasti pod kormovy'e kul'tury' // Melioraciya zemel' Sibiri i Dal'nego Vostoka. M.: Agropromizdat, 1985. S. 12–17.
18. *Naprasnikov A.T.* Kriterii binarnoj ocenki gidrologo-klimaticheskoy ustojchivosti geosistem // Geografiya i prirodny'e resursy'. 2002. № 3. S. 18–27.
19. *Naprasnikov A.T., Lopatovskaya O.G.* Praktikum po kursu «Melioraciya pochv». Irkutsk: IGU, 2014. 135 s.
20. *Neef E'.* Teoreticheskie osnovy' landshaftovedeniya. M.: Progress, 1974. 219 s.
21. *Ol'dekop E'M.* Ob isparenii s poverxnosti rechny'x bassejnov // Sb. tr. Meteorolog. observ. imper. Yur'evskogo un-ta. 1911. T. IV. 209 s.
22. *Preobrazhenskij V.S., Aleksandrova T.D., Kupriyanova T.N.* Osnovy' landshaftnogo analiza. M.: Nauka, 1988. 192 s.
23. *Puzachenko Yu.G.* Metodologicheskie osnovy' izmereniya slozhnosti landshafta // Izv. RAN. Ser. geogr. 1995. № 4. S. 30–50.
24. *Sochava V.B.* Vvedenie v uchenie o geosistemax. Novosibirsk: Nauka, 1978. 320 s.
25. *Chajld G.* Drevnejshij Vostok v svete novy'x raskopok: per s angl. M.: Inostrannaya literatura, 1956. 345 s.
26. *Chernyakov B.A., Shevlyagina E.A.* SShA: industrializaciya sel'skogo khozyajstva, e'kologicheskie posledstviya — problemy' perexoda k SARD // Ustojchivoe razvitie sel'skogo khozyajstva i sel'skix territorij: zarubezhny'j opy't i problemy' Rossii. M.: KMK, 2005. S. 118–152.
27. *Blaney H.F., Criddle W.D.* Determining water requirements in irrigated areas from climatologicas and irriqation data. U. S. Dept. Aqris Soil Cons. Serv. Techn., 1958. P. 96–98.

*A.T. Naprasnikov,
V.T. Dmitrieva*

Physical and Geographical Process in the Methodology of Knowledge of Geography, Hydrology and Rational Nature Management

Physical and geographical process in terms of its applicability in the methodology of knowledge of hydrological and environmental aspects of geography is analyzed in the article. From the ratio of heat and moisture its role in the unity of corresponding balances is disclosed. Spatial and temporal criteria of dependency of evaporation (water equivalent of the radiation balance) and water use of cultivated plants from the mean monthly air temperatures of the meteorological stations of the Baikal region are revealed. Their quantitative parameters are established. A short overview of nature and economy evolution from ancient times to nowadays is carried out. The continual way of forming the natural reclamation systems is proposed.

Keywords: geosystem; physical and geographical process; a meliorative nature use; relationship of the elements of water and heat and power balances.

В.А. Бубнов

О газодинамических течениях идеального газа

В работе осуществляется вывод уравнений газодинамики при условии, когда в процессе движения изменяется масса частицы жидкости. На основе полученных уравнений предлагается решение задачи об истечении газа из резервуара. Отмечаются новые режимы истечения.

Ключевые слова: частицы жидкости; уравнение Ньютона; идеальный газ; число Маха; скорость звука; критическая скорость и давление.

Феноменологический метод вывода уравнений гидродинамики основывается на применении к частице жидкости второго закона движения Ньютона, общепринятая векторная форма которого такова:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \sum \vec{F}, \quad (1)$$

где через m обозначена масса материальной точки, через \vec{V} — её скорость, а сумма справа представляет сумму всех сил, действующих на данную точку.

В действительности формула (1) написана не Ньютоном, а другими авторами, и в таком виде она вошла в учебники по физике. Ньютон же только представил словесную формулировку своего закона следующим образом: *изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует* [5: с. 40].

В рамках такого определения формульный вид рассматриваемого закона можно представить так:

$$C \frac{d(m\vec{V})}{dt} = \sum \vec{F}. \quad (2)$$

Здесь введён коэффициент пропорциональности C , который с одной стороны может приводить к одинаковой размерности правой и левой частей в (2), а с другой стороны при общепринятых размерностях величин, входящих в (2), может быть отвлечённым числом.

В работах автора [1–2] уравнение (2) было использовано для вывода уравнений гидродинамики, в которых плотность ρ суть величина переменная.

Отличие частицы жидкости от материальной точки состоит в том, что частица жидкости наряду с поступательным движением участвует в деформационном движении, которое изменяет её форму.

Чтобы отразить это деформационное движение Леонард Эйлер ввёл оператор полной производной:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z},$$

состоящий из локальной производной $\frac{\partial}{\partial t}$ и конвективной $u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$,

где u , v , w суть гидродинамические скорости вдоль осей x , y , z соответственно.

Если теперь ввести плотность ρ жидкости как отношение массы m частицы к единице объёма W частицы жидкости, а также поверхностную силу

$$\vec{P} = \vec{i} \cdot \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \vec{j} \cdot \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \sigma_z}{\partial z},$$

отнесённую к единице объёма, то уравнение (2) примет вид:

$$C\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \frac{C\vec{V}}{W} \cdot \frac{dm}{dt} = \vec{P}. \quad (3)$$

Отметим, что в выражении для поверхностной силы \vec{P} через \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} обозначены орты координатных осей x , y , z , соответственно, а через σ_x , σ_y , σ_z — нормальные напряжения.

Следуя [1–2], изменение массы вычислим через изменение объёма W и плотности ρ так:

$$\frac{dm}{dt} = \rho \frac{dW}{dt} + W \frac{d\rho}{dt}. \quad (4)$$

Теперь изменение объёма W выражаем через скорость объёмного расширения Θ следующим образом:

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{(W_0 - W_1)W_0}{W_0 \cdot \Delta t} = -W_0 \cdot \Theta, \quad (5)$$

где для Θ будем использовать общепринятые соотношения:

$$\Theta = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1 \Delta t} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt}. \quad (6)$$

Кроме того, воспользуемся общепринятым уравнением неразрывности:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \text{div} \vec{V} = 0. \quad (7)$$

Соотношения (5)–(7) позволяют уравнение (4) переписать так:

$$\frac{dm}{dt} = \rho \Theta (W - W_0). \quad (8)$$

Введём эмпирический параметр

$$C_1 = C \left(1 - \frac{W_0}{W_1} \right), \quad (9)$$

характеризующий величину изменения объёма частицы жидкости. После чего с учётом формул (8–9) уравнение (3) принимает вид:

$$C\rho \frac{d\vec{V}}{dt} + C_1\rho\vec{V} \cdot \Theta = \vec{P}. \quad (10)$$

Из (6) и (7) принимаем: $\Theta = -\text{div}\vec{V}$, что позволяет уравнению (10) придать новую форму:

$$C\rho \frac{d\vec{V}}{dt} - C_1\rho\vec{V} \text{ div}\vec{V} = \vec{P}. \quad (11)$$

В проекциях на координатные оси векторное уравнение (11) представит следующую систему уравнений в частных производных:

$$\left. \begin{aligned} C\rho \frac{du}{dt} - C_1\rho u \text{ div}\vec{V} &= \frac{\partial\sigma_x}{\partial x}, \\ C\rho \frac{dv}{dt} - C_1\rho v \text{ div}\vec{V} &= \frac{\partial\sigma_y}{\partial y}, \\ C\rho \frac{dw}{dt} - C_1\rho w \text{ div}\vec{V} &= \frac{\partial\sigma_z}{\partial z}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

В дальнейшем для анализа газодинамических течений воспользуемся случаем, когда $C_1 = 0$, что свидетельствует о неизменности объёма W частицы жидкости в процессе её движения. Кроме того, нормальные напряжения отождествим с гидростатическим давлением p , т. е. будем считать, что $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = -p$. Теперь система уравнений (12) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} c \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \\ c \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \\ c \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Напомним, что идеальным газом называют газ, уравнение состояния которого имеет вид:

$$p = \rho RT, \quad (14)$$

где p — давление, ρ — плотность газа, T — температура, а R — универсальная газовая постоянная. Будем предполагать отсутствие теплообмена между частицами газа, тогда газодинамические течения происходят при постоянной температуре. В таком случае уравнение (14) в процессе движения газа устанавливает связь между давлением и плотностью.

Теперь выполним следующие преобразования левой части первого уравнения в (13). Введем в нее добавочно два члена $v \frac{\partial v}{\partial x}$ и $w \frac{\partial w}{\partial x}$ со знаком плюс

и те же два члена со знаком минус, что не изменит рассматриваемого соотношения. После этого объединим следующие три слагаемых со знаком плюс

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial x},$$

которые тождественно равны соотношению

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} \right) = \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x}.$$

Что же касается введенных членов со знаком минус, то каждый из них присоединим к одному из оставшихся членов первоначального соотношения, а именно к имеющему тоже множитель перед производной. Таким образом

получим две группы членов: $v \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$ и $w \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right)$.

Здесь выражения в круглых скобках суть проекции угловых скоростей вихря, именно:

$$\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = -2\omega_z, \quad \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = 2\omega_y.$$

После указанных преобразований соотношения в левой части первого уравнения в (13) принимают вид:

$$c \left[\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x} + 2(w\omega_y - v\omega_z) \right].$$

Аналогичным преобразованиям следует подвергнуть и другие левые части системы (13). В результате чего исходной системе (13) придадим следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} c \left[\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x} + 2(w\omega_y - v\omega_z) \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \\ c \left[\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial y} + 2(u\omega_z - w\omega_x) \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \\ c \left[\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial z} + 2(w\omega_x - v\omega_y) \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

В дальнейшем будем изучать потенциальные течения, для которых $\omega_x = \omega_y = \omega_z = 0$ и существует потенциал скорости φ , определяемый так:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$

Последние соотношения позволяют видоизменить входящие в систему (15) производные от u, v, w по времени t , замечая, что:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial \varphi}{\partial t}.\end{aligned}$$

В итоге для таких течений система уравнений (15) упрощается так:

$$\left. \begin{aligned}c \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \\ c \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{V^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \\ c \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{V^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}.\end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Умножая первое уравнение из системы (16) на dx , второе на dy и третье на dz и почленно складывая их, получаем одно уравнение, имеющее следующий вид:

$$d \left[c \left(\frac{V^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) \right] = \frac{1}{\rho} dp.$$

В этом уравнении символ d имеет значение дифференциала лишь в пространстве — по координатам в один и тот же момент времени, так как в числе дифференциальных выражений не имеется производной по времени t .

Последнее соотношение позволяет произвести интегрирование, результат которого таков:

$$c \left(\frac{V^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + f(t) = - \int \frac{dp}{\rho}. \quad (17)$$

Если в (17) положить $c = 1$, то данное соотношение переходит в известный в гидродинамике интеграл Лагранжа, но эмпирическая константа c расширяет возможности данного уравнения в процессе описания газодинамических течений.

Для стационарных течений, которые подлежат дальнейшему изучению, соотношение (17) имеет более простой вид:

$$c \frac{V^2}{2} + const = - \int \frac{dp}{\rho}. \quad (18)$$

Заметим, что из вывода уравнения (18) следует его справедливость в любой точке газодинамического потока, в том числе и вдоль линии тока.

Вычисление интеграла в правой части (18) произведем для адиабатического процесса, когда давление p и плотность ρ изменяется по закону Пуассона:

$$p = k\rho^k,$$

где $\gamma = \frac{C_p}{c_v}$ суть отношение теплоемкостей. Для удобства интегрирования

указанный закон перепишем так:

$$\rho = \frac{1}{k} p^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{1}{k} p^\varepsilon.$$

Теперь возьмем определенный интеграл

$$\int_p^{p_1} k \frac{dp}{p^\varepsilon} = k \frac{(p_1^{1-\varepsilon} - p^{1-\varepsilon})}{(1-\varepsilon)}, \quad (19)$$

который является точным значением правой части в (18).

Если теперь в правую часть (19) вместо p_1 подставить $p + \Delta p$, то получим:

$$\int_p^{p_1} k \frac{dp}{p^\varepsilon} = \frac{k[(p + \Delta p)^{(1-\varepsilon)} - p^{(1-\varepsilon)}]}{(1-\varepsilon)} = \frac{k p^{(1-\varepsilon)} \left[\left(1 + \frac{\Delta p}{p} \right)^{(1-\varepsilon)} - 1 \right]}{(1-\varepsilon)}.$$

Разлагаем двучлен в квадратной скобке по биному Ньютона:

$$\left[\left(1 + \frac{\Delta p}{p} \right)^{(1-\varepsilon)} - 1 \right] = 1 + (1-\varepsilon) \frac{\Delta p}{p} + \dots - 1 = (1-\varepsilon) \frac{\Delta p}{p} \dots,$$

при этом высшим степеням пренебрегаем. Тогда:

$$\int_p^{p_1} k \frac{dp}{p^\varepsilon} = \frac{k p^{(1-\varepsilon)} (1-\varepsilon)}{(1-\varepsilon)} \cdot \frac{\Delta p}{p} = \frac{k \Delta p}{p^\varepsilon} = \frac{\Delta p}{\rho}. \quad (20)$$

Соотношение (20) позволяет при малых значениях $\frac{\Delta p}{\rho}$ равенство (18)

представить так:

$$c \frac{V^2}{2} + \frac{p}{\rho} = const, \quad (21)$$

что по форме совпадает с аналогичным уравнением для несжимаемой жидкости.

Традиционно соотношению (21) придают вид

$$p + c\rho \frac{V^2}{2} = const,$$

который представляет неизменяемую в течение движения сумму потенциальной и кинетической энергии частицы жидкости. Однако изменение плотности жидкости влечёт изменение внутренней энергии частицы жидкости U , которая для идеального газа зависит только от температуры T и определяется по формуле:

$$U = c_v T.$$

В равновесной термодинамике внутреннюю энергию объединяют с величиной $\frac{p}{\rho}$ введением специальной величины i , называемой энтальпией и определяемой так:

$$i = U + \frac{p}{\rho}. \quad (22)$$

Добавим внутреннюю энергию U в левую часть соотношения (21), после чего получим равенство

$$c \frac{V^2}{2} + i = const, \quad (23)$$

которое при $c = 1$ известно в газодинамике как уравнение Сен-Венана и Ванцеля.

Для идеального газа величина энтальпии определяется так:

$$i = c_v T + \frac{p}{\rho} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{p}{\rho},$$

что позволяет уравнение (23) представить в следующей форме [3]:

$$\frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{p}{\rho} + c \frac{V^2}{2} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{p_0}{\rho_0}. \quad (24)$$

В (24) индекс ноль означает параметры газа заторможенного потока, а γ — отношение теплоемкостей. Как и ранее будем считать, что справедлив закон Пуассона, тогда скорость звука определяется согласно общеизвестной формуле:

$$a = \sqrt{\left(\gamma \frac{p}{\rho} \right)} = \sqrt{\gamma RT}.$$

Это позволяет придать уравнению (24) вид:

$$\frac{a^2}{(\gamma - 1)} + c \frac{V^2}{2} = \frac{a_0^2}{(\gamma - 1)}. \quad (25)$$

Отношение скорости течения газа к местной скорости звука называется числом Маха M . Тогда энергетическое уравнение (25) представляется таким образом:

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{c(\gamma - 1)}{2} M^2. \quad (26)$$

Среднюю скорость течения V , равную скорости звука, назовем средней критической скоростью V_K . Из (26) легко усмотреть, что

$$V_K^2 = \frac{2}{2 + c(\gamma - 1)} a_0^2.$$

Из (24) нетрудно получить

$$\frac{p_0}{p} = \left[1 + \frac{c(\gamma - 1)}{2} M^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}.$$

Теперь полагаем $M = 1$ и $p = p_K$, после чего последнее соотношение приобретает вид:

$$\frac{p_K}{p_0} = \left[\frac{2}{2 + c(\gamma - 1)} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}. \quad (27)$$

Рассмотрим задачу об истечении газа из резервуара через насадок, когда вследствие кратковременного пребывания газа в пределах насадка можно пренебречь теплообменом с окружающей средой. Пусть давление внутри резервуара равно p_0 , плотность — ρ_0 , а скоростью движения газа внутри резервуара можно пренебречь. Параметры газа на выходе из насадка будем обозначать без индексов. Воспользуемся уравнением (24), решив его относительно скорости течения:

$$V = \sqrt{\left(\frac{2\gamma}{c(\gamma - 1)} \frac{p_0}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right] \right)}. \quad (28)$$

При установившемся движении газа его массовый расход $Q = \rho \omega V$ или с учетом (28) получаем:

$$Q = \omega \sqrt{\left(\frac{2\gamma p_0 \rho_0}{c(\gamma - 1)} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma}} \right] \right)}. \quad (29)$$

В (29) через ω обозначена площадь живого сечения потока. Если в (29) положить $c = 1$, то получим общеизвестную формулу Сен-Венана и Ванцеля. Однако формула (29) имеет более общий характер, так как она содержит поправку на множитель c , характеризующий местные сопротивления в насадках. Для различного рода местных сопротивлений в [4], получены эмпирические формулы для параметра c .

Для определения максимального расхода возьмем производную от правой части в (29) по переменной $\frac{p}{p_0}$ и приравняем ее к нулю. Тогда после простых преобразований получим:

$$\frac{p_M}{p_0} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}. \quad (30)$$

Здесь через p_M обозначено предельное давление на выходе из насадка. Сравнивая (27) и (30), замечаем, что $p_K \neq p_M$ вопреки общеизвестным представлениям. Для получения скорости V_M необходимо подставить в (28) вместо $\frac{p}{p_0}$ величину $\frac{p_M}{p_0}$, определенную формулой (30). Тогда будем иметь:

$$V_M = \frac{1}{\sqrt{c}} a_M,$$

где a_M — скорость звука при давлении p_M . Отсюда следует, что при истечении идеального газа из резервуара максимальный расход имеет место при скорости истечения, не равной скорости звука.

Из (29) таким же образом получаем формулу и для максимального расхода:

$$Q_M = \omega \sqrt{\left(\frac{\gamma p_0 \rho_0}{c} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right)}. \quad (31)$$

В практике газодинамических расчетов при адаптации к опытным фактам формулы Сен-Венана и Ванцеля в нее вводят эмпирический множитель μ , называемый коэффициентом расхода. Это приводит к следующей формуле для вычисления расхода газа при его истечении из резервуара:

$$Q = \mu \omega \sqrt{\left(\frac{2\gamma p_0 \rho_0}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right)}. \quad (32)$$

Недостаток этой формулы заключается в том, что μ определяется только опытным путем и зависит как от режимов истечения, так и от конструктивных особенностей насадка.

Сравнивая (29) и (32), получаем:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{c}} = \psi \sqrt{\left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right)}. \quad (33)$$

Величина ψ вместо μ здесь введена для удобства дальнейших расчетов. В [3] показано, что для выбранной конструкции насадка коэффициент расхода не есть постоянная величина, а зависит от величины проходного сечения в насадке, т. е. в процессе регулирования режимами истечения μ измеряется от нуля до бесконечности. Предложенные в [4] формулы для множителя c можно рассматривать как расчетные схемы для эмпирического множителя μ в (32) в зависимости от характера газодинамических течений.

С использованием (33) формулу (27) можно переписать так:

$$\frac{p_K}{p_0} = \left[\frac{2\psi^2}{\gamma + 2\psi^2} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}. \quad (34)$$

Если $c = 1$, то $p_K = p_M$; тогда по (30) для воздуха ($\gamma = 1,4$) будем иметь:

$\frac{p_M}{p_0} = \frac{p_K}{p_0} = 0,5283$. Указанное значение $\frac{p_K}{p_0}$ можно получить из (34), если при-

нять $\psi = 1,8709$. Рисунок 1 иллюстрирует поведение функции $\frac{p_K}{p_0} = f(\psi)$, рассчитанной согласно (34).

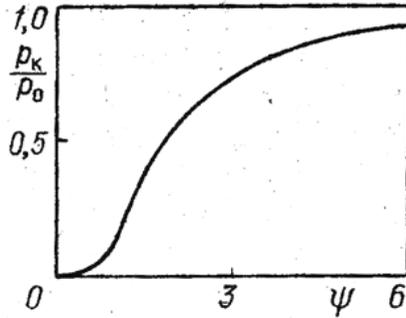


Рис. 1. Изменение критического давления при истечении газа из резервуара

Определим величину критического расхода подстановкой (27) в (29). После чего будем иметь:

$$Q_K = \omega \sqrt{\left[p_0 \rho_0 \left[\frac{2}{2 + c(\gamma - 1)} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right]} \quad (35)$$

Нетрудно показать, что $Q_K = Q_M$ при $\psi = 1,8709$.

Приведем еще одно интересное соотношение:

$$\frac{Q_M}{Q_K} = \frac{\sqrt{\left(\left[\frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right)}}{\left(\frac{\gamma}{(\gamma - 1)\psi^2} \left[\frac{2\psi^2}{2\psi^2 + \gamma} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right)} \quad (36)$$

Из рисунка 2 следует, что для воздушных потоков зависимость $\frac{Q_M}{Q_K} = f(\psi)$

имеет минимум при $\psi = 1,8709$.

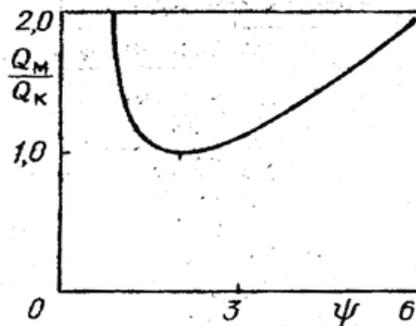


Рис. 2. Расходная характеристика

Обычно в теоретических расчетах оперируют безразмерным расходом $\bar{Q} = \frac{Q}{Q_M}$, формулу для вычисления которого нетрудно получить из (29) и (31).

Она имеет вид:

$$\bar{Q} = \sqrt{\left[\frac{2}{\gamma-1} \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right]} \quad (37)$$

Соотношение (37) определяет характер истечения воздуха из резервуара в зависимости от отношения давления $\frac{p}{p_0}$ (рис. 3). На рисунке 3 отметим

точку 2, где $\frac{p}{p_0} = \frac{p_M}{p_0} = 0,5283$, $\bar{Q} = 1$, $\frac{Q_M}{Q_K} = 1$ и $\psi = 1,8709$. В этих условиях

при $\frac{p}{p_0} < \frac{p_M}{p_0}$ истечение происходит с максимальным расходом Q_M вплоть

до точки 2, а после нее $\left(\frac{p}{p_0} > \frac{p_M}{p_0} \right)$ расход уменьшается с ростом значений $\frac{p}{p_0}$.

Это общеизвестный характер истечения, но в рамках излагаемой концепции он представляет частный случай, имеющий место только при $\psi = 1,8709$.

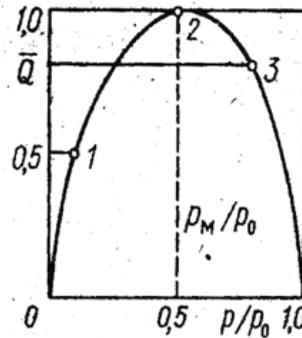


Рис. 3. Различные режимы истечения газа

Для дальнейшего анализа используем формулу:

$$\frac{V_M}{V_K} = \sqrt{\left(\frac{(\gamma-1)(\gamma+2\psi^2)}{\gamma(\gamma+1)} \right)}, \quad (38)$$

определяющую отношение максимальной скорости V_M истечения критической V_K .

Теперь рассмотрим случай, когда у насадки обобщенный коэффициент расхода $\psi < 1,8709$. Пусть $\psi = 1$, то по (39) имеем $\frac{p_K}{p_0} = 0,1561$. Отложим это

значение на оси абсцисс (рис. 3) и через эту точку проведем прямую, параллельную оси ординат до пересечения с кривой $\bar{Q} = f\left(\frac{p}{p_0}\right)$. Точке пересечения присвоим номер 1. При $\psi = 1$ из (38) получаем, что максимальная скорость истечения V_M меньше критической V_K . Поэтому до точки 1 $\left(0 < \frac{p}{p_0} \leq 0,1561\right)$ расход равен критическому и далее $\left(0,1561 < \frac{p}{p_0} \leq 1\right)$ он возрастает до точки 2, а затем падает до нуля.

Третий режим истечения имеет место, когда $\psi > 1$. Пусть $\psi = 4$, что соответствует (точка 3 на рис. 3). В данном из (38). Следовательно, до точки 3 расход истечения равен критическому и далее уменьшается до нуля.

Таким образом, применительно к газодинамическим течениям определен новый режим истечения от точки 2 до точки 3 (рис. 3), что ранее не было отражено в известной литературе.

Литература

1. Бубнов В.А. Об изменении плотности в гидродинамическом потоке // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2014. № 4 (16). С. 9–19.
2. Бубнов В.А. Об уравнениях гидродинамики с переменной плотностью // Седьмые Поляховские чтения: тезисы докладов Междунар. конфер. по механике (Санкт-Петербург, 2–6 февраля 2015 г.). М.: Издатель И.В. Баланов. 2015. С. 86.
3. Бубнов В.А. Турбулентные изоэнтропные течения // Инженерно-физический журнал. 1998. Т. 71. № 2. С. 330–335.
4. Бубнов В.А. Расчет местных сопротивлений в проточной части гидроприводе // Вестник машиностроения. 1989. № 11. С. 17–20.
5. Ньютон И. Математические начала натуральной философии / пер. с лат. А.Н. Крылова // Собрание трудов академика А.Н. Крылова. Т. VII. М.–Л.: АН СССР, 1936. 696 с.

Literatura

1. Bubnov V.A. Ob izmenenii plotnosti v gidrodinamicheskom potoke // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2014. № 4 (16). S. 9–19.
2. Bubnov V.A. Ob uravneniyax gidrodinamiki s peremennoj plotnost'yu // Sed'my'e Polyaxovskie chteniya: tezisy' dokladov Mezhdunar. konfer. po mexanike (Sankt-Peterburg, 2–6 fevralya 2015 g.). M.: Izdatel' I.V. Balanov. 2015. S. 86.
3. Bubnov V.A. Turbulentny'e izoe'ntropny'e techeniya // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. 1998. T. 71. № 2. S. 330–335.
4. Bubnov V.A. Raschet mestny'x soprotivlenij v protochnoj chasti gidroprivoде // Vestnik mashinostroeniya. 1989. № 11. S. 17–20.
5. N'yuton I. Matematicheskie nachala natural'noj filosofii / per. s lat. A.N. Kry'lova // Sbranie trudov akademika A.N. Kry'lova. T. VII. M.–L.: AN SSSR, 1936. 696 s.

V.A. Bubnov

On the Gas-dynamic Flow of an Ideal Gas

In the paper the author carries out the derivation of the equations of gas dynamics on condition when in the process of motion the mass of the particle of liquid changes. On the basis of the derived equations the author proposes solution to the problem of the outflow of gas from the reservoir. New modes of outflow are noted.

Keywords: particles of liquid; Newton equation; ideal gas; Mach number; speed of sound; critical speed and pressure.

В.А. Бубнов

Об уравнении неразрывности в гидродинамике

В статье представлены результаты изучения изменений объема частицы жидкости вследствие деформационного движения. Демонстрируется ряд кинематических соотношений, среди которых общеизвестное уравнение неразрывности. В качестве новых соотношений даются волновое уравнение и уравнение Пуассона.

Ключевые слова: частица жидкости; деформационное движение; волновое уравнение; уравнение Пуассона.

Уравнение неразрывности для анализа кинематических свойств жидкости ввёл Леонард Эйлер. Суть рассуждений Эйлера в данном случае воспроизводим по [5].

Обозначим через W объём движущегося элемента жидкости, тогда согласно закону сохранения массы будем иметь:

$$\frac{d(\rho W)}{dt} = 0$$

или

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} = 0. \quad (1)$$

Здесь ρ — плотность жидкости, а $\frac{d}{dt}$ — оператор полной производной,

впервые введённый Эйлером и равный

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}.$$

В этом операторе через u , v , w обозначены скорости частицы жидкости вдоль осей x , y , z соответственно, а через t — время.

Чтобы вычислить значение $\frac{1}{W} \frac{dW}{dt}$, рассмотрим элемент, заполняющий

в момент t параллелепипед $dx dy dz$, вершина M которого лежит в точке (x, y, z) , а рёбра ML , MQ , MN параллельны координатным осям. В момент $t + dt$ рассматриваемый элемент образует косой параллелепипед, и так как скорости частицы L относительно частицы M равны:

$$\frac{\partial u}{\partial x} dx, \frac{\partial v}{\partial x} dx, \frac{\partial w}{\partial x} dx,$$

то по прошествии времени dt проекции ребра ML на координатные оси будут равны

$$\left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} dt\right) dx, \frac{\partial v}{\partial x} dt dx, \frac{\partial w}{\partial x} dt dx.$$

Пренебрегая членами высшего порядка относительно dt , найдём, что длина этого ребра будет равна

$$\left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} dt\right) dx.$$

Аналогично находим и остальные рёбра. Так как углы параллелепипеда только бесконечно мало отличаются от прямых углов, то объём его, если пренебречь членами высшего порядка малости относительно dt , выразится произведением трёх рёбер, т. е. получим

$$W + \frac{dW}{dt} dt = \left\{1 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) dt\right\} dx dy dz.$$

Отсюда следует, что

$$\frac{1}{W} \frac{dW}{dt} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}. \quad (2)$$

По терминологии Эйлера соотношение (2) характеризует изменение во времени и в пространстве контрольного объёма жидкости. Теперь из соотношений (1) и (2) находим:

$$\frac{d\rho}{dt} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) называется уравнением неразрывности, и им пользуются по сей день.

Заметим, что в соотношении (2) Эйлер привёл члены и более высокого порядка малости относительно dt , на что впервые было обращено внимание в работах профессора В.М. Овсянникова (см., например: [6]).

Однако при выводе соотношения (2) Эйлером не определено начало системы координат, относительно которого движутся частицы жидкости, и не проанализированы виды движений указанной частицы.

Такой анализ проделан нашим соотечественником Н.Е. Жуковским в работе [4].

Действительно, следуя [4], применительно к жидкой частице выбирают начало прямоугольных осей координат x, y, z в какой-нибудь точке O движущейся жидкой массы и обозначают через u_0, v_0, w_0 компоненты относительно этих осей скорости точки O , а через u, v, w — подобные компоненты других точек жидкости. Допустим, что u, v, w суть непрерывные функции, которые для точек, весьма близких к O , могут быть разложены в ряд Тейлора по x, y, z . Это условие непрерывности компонентов скорости позволяет, несмотря на все

разнообразие движений жидкости, установить некоторые общие законы движения бесконечно малой ее части, прилегающей к точке O . Такую бесконечно малую часть жидкости Н.Е. Жуковский назвал частицей жидкости, а точку жидкости O , лежащую внутри частицы, — ее центром.

Разлагая u, v, w в ряд Тейлора по бесконечно малым координатам x, y, z и отбрасывая бесконечно малые члены выше первого порядка, представим скорости точек частицы жидкости следующими линейными функциями координат:

$$\left. \begin{aligned} u &= u_0 + \frac{\partial u}{\partial x}x + \frac{\partial u}{\partial y}y + \frac{\partial u}{\partial z}z, \\ v &= v_0 + \frac{\partial v}{\partial x}x + \frac{\partial v}{\partial y}y + \frac{\partial v}{\partial z}z, \\ w &= w_0 + \frac{\partial w}{\partial x}x + \frac{\partial w}{\partial y}y + \frac{\partial w}{\partial z}z. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Преобразуем первую из этих формул:

$$u = u_0 + \frac{\partial u}{\partial x}x + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) y + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) z + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) z - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) y,$$

и, сделав такие же преобразования с другими, предположим, что

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \varepsilon_1, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = \varepsilon_2, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_3, \\ \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} &= 2\theta_1, \quad \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} = 2\theta_2, \quad \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = 2\theta_3, \\ \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} &= 2\omega_x, \quad \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = 2\omega_y, \quad \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 2\omega_z. \end{aligned}$$

Тогда найдем:

$$\left. \begin{aligned} u &= u_0 + \omega_y z - \omega_z y + \frac{\partial F}{\partial x}, \\ v &= v_0 + \omega_z x - \omega_x z + \frac{\partial F}{\partial y}, \\ w &= w_0 + \omega_x y - \omega_y x + \frac{\partial F}{\partial z}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$F = \frac{1}{2} (\varepsilon_1 x^2 + \varepsilon_2 y^2 + \varepsilon_3 z^2 + 2\theta_1 yz + 2\theta_2 zx + 2\theta_3 xy). \quad (6)$$

Формулы (5) впервые были получены Гельмгольцем в 1858 году. Они показывают, что движение частицы жидкости может быть разложено на три движения: поступательное со скоростью ее центра, вращательное относительно

оси, проходящей через этот центр, и движение с потенциалом скоростей, при котором центр неподвижен.

Величины $\omega_x, \omega_y, \omega_z$, входящие в (5), суть компоненты угловой скорости вращения частицы.

Отбросив поступательное и вращательное движение частицы, исследуем треть ее движение, которое называют деформацией, так как только от него происходит изменение вида частицы. Деформация может быть рассматриваема как движение частицы относительно подвижных осей координат, которые имеют то же поступательное и вращательное движение, что и частица жидкости.

Ради удобства письма подвижные оси координат будут обозначаться теми же символами x, y, z , так что скорости деформационного движения выразятся формулами:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial F}{\partial x}, \frac{dy}{dt} = \frac{\partial F}{\partial y}, \frac{dz}{dt} = \frac{\partial F}{\partial z}. \quad (7)$$

Формула (6) представляет уравнение центральной поверхности второго порядка.

Из теории поверхностей второго порядка известно, что если за оси координат приняты диаметры, попарно сопряженные, то уравнение поверхности будет содержать только члены с квадратами координат. Такие направления называются главными, а в теории деформационного движения их называют осями деформации.

Известно также, что для перехода от осей x, y, z к осям деформации ξ, η, ζ необходимо равенство нулю следующего определителя третьего порядка, составленного из коэффициентов многочлена (6):

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_1 - \lambda & \theta_3 & \theta_2 \\ \theta_3 & \varepsilon_2 - \lambda & \theta_1 \\ \theta_2 & \theta_1 & \varepsilon_3 - \lambda \end{vmatrix} = 0. \quad (8)$$

После вычисления определителя в (8) получается кубическое уравнение относительно λ :

$$\lambda^3 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)\lambda^2 + (\varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2\varepsilon_3 + \varepsilon_1\varepsilon_3 - \theta_1^2 - \theta_2^2 - \theta_3^2)\lambda - (\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3 + 2\theta_1\theta_2\theta_3 - \varepsilon_1\theta_1^2 - \varepsilon_2\theta_2^2 - \varepsilon_3\theta_3^2) = 0. \quad (9)$$

В аналитической геометрии доказывается, что все три корня $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ в уравнении (9) действительны, а уравнение поверхности (6), относительно к главным осям ξ, η, ζ , представляется в виде:

$$F = \frac{1}{2}(\lambda_1\xi^2 + \lambda_2\eta^2 + \lambda_3\zeta^2). \quad (10)$$

По аналогии с формулами (7) скорости деформационного движения вдоль осей деформации будем определять так:

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{\partial F}{\partial \xi}, \frac{d\eta}{dt} = \frac{\partial F}{\partial \eta}, \frac{d\zeta}{dt} = \frac{\partial F}{\partial \zeta}. \quad (11)$$

Поверхность F была названа Н.Е. Жуковским поверхностью расширения.

Если для вычисления скоростей деформационного движения по формулам (11) использовать F в форме (10), то будем иметь:

$$\frac{d\xi}{dt} = \lambda_1 \xi, \frac{d\eta}{dt} = \lambda_2 \eta, \frac{d\zeta}{dt} = \lambda_3 \zeta. \quad (12)$$

Формулы (12) показывают, что частица жидкости, имеющая форму бесконечно малого прямоугольного параллелепипеда, стороны которого параллельны осям деформации, остается прямоугольным параллелепипедом и по прошествии времени dt . Из этих же формул следует, что задача по нахождению скоростей деформационного движения сводится к проблеме нахождения корней $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ кубического уравнения (9).

Для разрешения указанной проблемы в уравнении (9) введем дополнительные обозначения [1]:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3, \quad (13)$$

$$A = \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_1 \varepsilon_3 + \varepsilon_2 \varepsilon_3 - (\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2), \quad (14)$$

$$B = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 + 2\theta_1 \theta_2 \theta_3 - (\varepsilon_1 \theta_1^2 + \varepsilon_2 \theta_2^2 + \varepsilon_3 \theta_3^2), \quad (15)$$

после чего оно примет вид:

$$\lambda^3 - \varepsilon \lambda^2 + A \lambda - B = 0. \quad (16)$$

Так как все три корня в уравнении (16) действительны, то его левую часть можно представить так:

$$f(\lambda) = (\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)(\lambda - \lambda_3). \quad (17)$$

Представим правую часть в (17) в форме многочлена по степеням λ и сравним указанный многочлен с левой частью в (16). В результате чего, после приравнивания коэффициентов при одинаковых степенях λ в (16) и (17), будем иметь соотношения между корнями $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и характеристиками деформационного движения в такой форме:

$$\begin{aligned} \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 &= \varepsilon, \\ \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_3 &= A, \\ \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 &= B. \end{aligned} \quad (18)$$

Для вычисления коэффициента кубического расширения частицы жидкости предположим, что она имеет форму бесконечно малого шарика, уравнение которого есть

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = a^2 \quad (19)$$

и определим ее вид по прошествии времени dt . На основании уравнений (12) точка жидкой частицы, имеющая координаты ξ, η, ζ , будет по прошествии времени dt иметь координаты:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \xi + d\xi = \xi(1 + \lambda_1 dt), \\ y_1 &= \eta + d\eta = \eta(1 + \lambda_2 dt), \\ z_1 &= \zeta + d\zeta = \zeta(1 + \lambda_3 dt). \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Определив отсюда ζ, η, τ , и подставив их в уравнение сферы (19), получим уравнение эллипсоида:

$$\frac{x_1^2}{a^2(1+\lambda_1 dt)^2} + \frac{y_1^2}{a^2(1+\lambda_2 dt)^2} + \frac{z_1^2}{a^2(1+\lambda_3 dt)^2} = 1. \quad (21)$$

Объем сферы (19) будет

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi a^3,$$

а объем эллипсоида (21):

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi a^3 (1+\lambda_1 dt)(1+\lambda_2 dt)(1+\lambda_3 dt).$$

Коэффициентом кубического расширения принято считать следующую величину:

$$\theta = \frac{\Delta V}{V \Delta t} = \frac{V_0 - V_1}{V_0 \Delta t}, \quad (22)$$

которая из приведенных формул для V_0 и V выражается через характеристики деформационного движения так [8]:

$$\theta = -(\varepsilon + A dt + B dt^2). \quad (23)$$

При выводе формулы (23) предполагалось, что $\Delta t = dt$, что позволительно ввиду независимости переменной t .

Частица жидкости характеризуется массой m и плотностью ρ , через которые объемы V_0 и V определяются так:

$$V_0 = \frac{m_0}{\rho_0}, V_1 = \frac{m_1}{\rho_1}. \quad (24)$$

Формулы (24) позволяют рассмотреть три случая изменения коэффициента кубического расширения θ .

Действительно, пусть при деформационном движении масса частицы жидкости не изменяется, т. е. $m_1 = m_0 = m$. Тогда из (22) с учетом (24) получаем:

$$\theta = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1 \Delta t} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt}. \quad (25)$$

Вопреки установившемуся в гидродинамике мнению из приведенных рассуждений не следует, что постоянство плотности частицы жидкости влечет постоянство ее массы во время деформационного движения.

Второй случай движения частицы жидкости, это когда во время движения сохраняется ее плотность, т.е. $\rho_1 = \rho_0 = \rho$. Тогда из (22) и (24) получаем:

$$\theta = \frac{m_0 - m_1}{m_0 \Delta t} = \frac{1}{m} \frac{dm}{dt}. \quad (26)$$

И, наконец, при движении частицы жидкости может оказаться, что $\rho_1 m_0 = \rho_0 m_1$. Тогда из (22) и (23) следует:

$$\theta = 0. \quad (27)$$

Формулы (25–27) позволяют из (23) получить следующие три соотношения [1], характеризующие процесс объемного расширения частицы жидкости:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + (\varepsilon + A dt + B dt^2) = 0, \quad (28)$$

$$\frac{1}{m} \frac{dm}{dt} + (\varepsilon + A dt + B dt^2) = 0, \quad (29)$$

$$(\varepsilon + A dt + B dt^2) = 0. \quad (30)$$

Если в выражениях, заключенных в круглые скобки, формул (28–30) положить $dt = 0$, то будем иметь:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \varepsilon = 0, \quad (31)$$

$$\frac{1}{m} \frac{dm}{dt} + \varepsilon = 0, \quad (32)$$

$$\varepsilon = 0. \quad (33)$$

С учетом формулы (13) и приведенных ранее выражений для $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ соотношения (31–33) через скорости деформационного движения переписываются так:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (34)$$

$$\frac{1}{m} \frac{dm}{dt} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (35)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (36)$$

Соотношение (36) известно в гидродинамике как уравнение неразрывности при движении несжимаемой жидкости. Его получают из (34), полагая в последнем $\rho = const$.

Заметим, что кинематические соотношения (28–30) имеют место и тогда, когда в качестве первоначального объема частицы принимается элементарный куб.

Формулы (28–30) устанавливают связь между коэффициентом кубического расширения θ и кинематическими характеристиками частицы жидкости $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \theta_1, \theta_2, \theta_3$, для вычисления которых необходимо знать скорости деформационного движения u, v, w как функции координат x, y, z , используемых при написании разложений (4).

Следует заметить, что выражения для коэффициента θ в формах (28–30) получены для произвольных значений $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ корней кубического уравнения (9). Очевидно, что при поиске конкретных значений указанных корней между кинематическими характеристиками частицы жидкости возникнут определенные соотношения, которые и могут быть использованы для определения поля скоростей деформационного движения.

Действительно, Н.Е. Жуковский в [4] разыскивал корни уравнения (9) при условии, что

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0. \quad (37)$$

В этом случае соотношения (18) между корнями $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и характеристиками деформационного движения $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 &= \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3, \\ \lambda_1\lambda_2 + \lambda_1\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3 &= \varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_1\varepsilon_3 + \varepsilon_2\varepsilon_3, \\ \lambda_1\lambda_2\lambda_3 &= \varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3. \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Из соотношений (38) очевидны значения корней уравнения (9):

$$\lambda_1 = \varepsilon_1, \lambda_2 = \varepsilon_2, \lambda_3 = \varepsilon_3. \quad (39)$$

Условия (37) позволяют поверхность расширения (6) переписать так:

$$F = \frac{1}{2}(\varepsilon_1x^2 + \varepsilon_2y^2 + \varepsilon_3z^2), \quad (40)$$

которая в рамках ограничений (37) совпадает с уравнением той же поверхности, отнесенным к главным осям ξ, η, ζ . Последнее означает, что любая прямоугольная система координат x, y, z совпадает с осями деформации, если выполняются ограничения (37).

Ранее показано, что выражения для $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ в раскрытом виде таковы:

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right), \theta_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right), \theta_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right). \quad (41)$$

Следовательно, ограничения (37) позволяют установить три дифференциальных уравнения в частных производных для определения скоростей u, v, w :

$$\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = 0. \quad (42)$$

Известно, что величины $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ определяют три скольжения без вращения, направления которых суть координатные линии oy, oz, ox , а оси скольжения — координатные линии ox, oy, oz . Поэтому условия (42) означают, что в данном случае частица жидкости только удлиняется по направлению координат на величины $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$. В [3] показано, что соотношения (42) обращают в нуль вязкие касательные напряжения.

Кинематическое соотношение (31) в гидродинамике рассматривается в качестве уравнения неразрывности сжимаемой жидкости. Оно получается из условия (25), в котором изменение в единицу времени коэффициента кубического расширения θ отождествляется с изменением плотности ρ в течение того же промежутка времени.

Вопрос о правомерности такого обсуждения впервые обсуждался в [2]. Действительно, частица жидкости, согласно молекулярно-кинетическим представлениям вещества, состоит из молекул, находящихся в тепловом движении. Это тепловое движение описывается уравнением состояния вещества, в которое входят давление, температура и удельный объём. Из уравнения состояния можно выразить плотность как функцию от давления и температуры. Кроме того, частица жидкости как единое целое участвует в деформационном движении, которое накладывается на указанное тепловое движение молекул.

Если деформационное движение не влияет на тепловое движение, т. е. два этих движения сосуществуют независимо друг от друга, то отпадает необходимость в соотношении (25), так как из уравнения состояния плотность можно выразить через давление и температуру гидродинамического потока.

Отметим, что случай независимого сосуществования указанных движений имеет место в потоках жидкости, лишённой трения, и в ламинарных течениях.

Экспериментально доказано, что в турбулентных течениях принцип сосуществования данных движений нарушается и возникают пульсации плотности и давления. В таких течениях формула (25) и уравнение неразрывности (31) могут иметь место.

Чтобы обойти спорный вопрос относительно корректности соотношения (25) введём безразмерный коэффициент k кубического расширения жидкости, и величину θ определим так:

$$\theta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} = \frac{k}{\Delta t} = \frac{\partial k}{\partial t}, \quad (43)$$

где $\frac{\partial}{\partial t}$ — локальная производная по времени. Теперь уравнение (23) с учётом (43) переписываем так:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = -(\varepsilon + A dt + B dt^2). \quad (44)$$

Пусть в (44) $dt \rightarrow 0$, тогда это соотношение принимает более простой вид, а именно:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{V} = 0. \quad (45)$$

Введём новый вектор \vec{q} как

$$\frac{\partial \vec{q}}{\partial t} = \vec{V}, \quad (46)$$

где \vec{V} — вектор гидродинамической скорости, составляющие которого выражаются через составляющие вектора \vec{q} следующим образом:

$$u = \frac{\partial q_x}{\partial t}, u = \frac{\partial q_y}{\partial t}, u = \frac{\partial q_z}{\partial t}. \quad (47)$$

Возьмём операцию дивергенции от обеих частей соотношения (46), после чего с учётом (45) получим:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\operatorname{div} \vec{q} + k) = 0.$$

В этом равенстве приравниваем к нулю выражение в скобках и к полученному соотношению добавляем уравнение (46). В результате чего заключаем, что соотношение (45) эквивалентно двум следующим равенствам:

$$\operatorname{div} \vec{q} + k = 0, \frac{\partial \vec{q}}{\partial t} = \vec{V}. \quad (48)$$

Для перехода к стационарным течениям, т. е. когда вектор \vec{V} зависит только от координат, полагаем, что:

$$q_x = t \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x}, q_x = t \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x}, q_x = t \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x}, k = t \cdot k_0(x, y, z).$$

После этого первое уравнение в (48) принимает вид:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -k_0(x, y, z). \quad (49)$$

Здесь функция $\varphi(x, y, z)$ представляет потенциал скоростей, так как в данном случае из (47) следует:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, w = \frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$

Уравнение (49) по форме совпадает с известным уравнением Пуассона с той лишь разницей, что в отличие от уравнения Пуассона правая часть в (49) суть функция координат. Обычно в гидродинамике потенциальные течения изучаются на основе уравнения Лапласа, в которое переходит соотношение (49) при $k_0 = 0$.

Таким образом, уравнение (49) расширяет класс потенциальных гидродинамических течений, разновидности которого определяются характером функции $k_0(x, y, z)$. Для изучения нестационарных течений на базе уравнений (48) введём функцию $\Psi(x, y, z, t)$ таким образом:

$$q_x = \frac{\partial \Psi}{\partial x}, q_y = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, q_z = \frac{\partial \Psi}{\partial z}.$$

Эти значения q_x, q_y, q_z подставляем в первое уравнение (48) и получаем:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = -k(x, y, z, t).$$

Далее выразим коэффициент кубического расширения k через функцию Ψ следующим образом:

$$k = -\frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2},$$

после чего последнее соотношение примет вид:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = g^2 \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right), \quad (50)$$

где величина g имеет размерность скорости. Это уравнение (50) описывает волновые движения. Оно используется в акустике и электродинамике.

Рассмотрим ещё один класс потенциальных течений, когда промежутки времени $dt = \Delta t$ суть величина конечная. Для этого предположим $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0$, а $\frac{\partial k}{\partial t} = -f(x, y, z)$. При этих предположениях уравнение (44) переписывается так:

$$\varepsilon + A \cdot \Delta t + B \cdot \Delta t^2 = f(x, y, z), \quad (51)$$

где из формул (14) и (15) получаем:

$$A = \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_1 \varepsilon_3 + \varepsilon_2 \varepsilon_3, B = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3. \quad (52)$$

Как и ранее, вводим потенциал скоростей $\varphi(x, y, z, t)$, после чего уравнение (51) принимает вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) \Delta t + \\ & + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \cdot \Delta t^2 = f(x, y, z). \end{aligned}$$

Решение этого уравнения будем искать в виде ряда по степеням Δt , а именно:

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_1 \cdot \Delta t + \varphi_2 \cdot \Delta t^2 + \dots$$

Тогда, например, для φ_0 получим:

$$\frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial z^2} = f(x, y, z). \quad (53)$$

Уравнение (53) по форме совпадает с уравнением (75) и является обобщённым уравнением Пуассона.

Таким образом, кинематическое соотношение (44) существенно расширяет характер гидродинамических течений.

Литература

1. Бубнов В.А. О деформационных движениях частицы жидкости // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2008. № 1 (20). С. 71–77.
2. Бубнов В.А. Кинематические соотношения частицы жидкости при ее деформационном движении // Физическое образование в вузах. 2012. Т. 18. № 3. С. 111–119.
3. Бубнов В.А. О влиянии вязких нормальных напряжений на характер распределения механической энергии в гидродинамических потоках // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2013. № 2 (12). С. 9–15.
4. Жуковский Н.Е. Кинематика жидкого тела; Гидродинамика // Жуковский Н.Е. Полн. собр. соч. / ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского; комитет по увековечению памяти Н.Е. Жуковского; ред. коллегия: С.А. Чаплыгин, А.Н. Некрасов, В.А. Архангельский и др. Т. II. М. – Л.: ОНТИ СССР, 1935. 357 с.
5. Ламб Г. Гидродинамика / Пер. с англ. А.В. Гермогенова, В.А. Кудрявцева; под ред. Н.А. Слезкина. М. – Л.: ОГИЗ изд. тех.-теор. лит., 1947. 928 с.
6. Овсянников В.М. Конечно-разностное уравнение неразрывности Леонарда Эйлера. Проблемы аксиоматики в гидрогазодинамике: сб. ст. № 22. М.: Спутник, 2011. 152 с.

Literatura

1. Bubnov V.A. O deformacionny'x dvizheniyax chasticzy' zhidkosti // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2008. № 1 (20). S. 71–77.
2. Bubnov V.A. Kinematicheskie sootnosheniya chasticzy' zhidkosti pri ee deformacionnom dvizhenii // Fizicheskoe obrazovanie v vuzax. 2012. T. 18. № 3. S. 111–119.
3. Bubnov V.A. O vliyani vlyazkix normal'ny'x napryazhenij na karakter raspredeleniya mexanicheskoy e'nergii v gidrodinamicheskix potokax // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2013. № 2 (12). S. 9–15.
4. Zhukovskij N.E. Kinematika zhidkogo tela; Gidrodinamika // Zhukovskij N.E. Poln. sobr. soch. / CzAGI im. N.E. Zhukovskogo; komitet po uvekovecheniyu pamyati N.E. Zhukovskogo; red. kollegiya: S.A. Chaply'gin, A.N. Nekrasov, V.A. Arxangel'skij i dr. T. II. M. – L.: ONTI SSSR, 1935. 357 s.
5. Lamb G. Gidrodinamika / Per. s angl. A.V. Germogenova, V.A. Kudryavceva; pod red. N.A. Slezkina. M. – L.: OGIZ izd. tex.-teor. lit., 1947. 928 s.
6. Ovsyannikov V.M. Konechno-raznostnoe uravnenie nerazry'vnosti Leonarda E'jlera. Problemy' aksiomatiki v gidrogazodinamike: sb. st. № 22. M.: Sputnik, 2011. 152 s.

V.A. Bubnov

On the Equation of Continuity in Hydrodynamics

The article presents the results of a study of changes in volume of a fluid particle due to deformation motion. The author shows a number of kinematic relations, including the well-known equation of continuity. As the new relations the wave equation and the Poisson equation are given.

Keywords: fluid particle; deformation motion; wave equation; Poisson equation.

А.Г. Резанов

Зимовка кряквы *Anas platyrhynchos* на Москве-реке в музее-заповеднике Коломенское в период с 1984 по 2015 годы

В статье рассмотрена многолетняя (1984–2015 гг.) динамика зимовки кряквы *Anas platyrhynchos* на Москве-реке в музее-заповеднике Коломенское. Кряква является самой многочисленной из 12 видов уток, отмеченных на зимовке в Коломенском. Освещены некоторые аспекты экологии и поведения зимующих крякв: влияние зимних температур на численность и характер распределения уток, реакция птиц на подкормку, распределение уток на ночёвке, кормовое поведение. Отмечены изменения в зимнем распределении крякв, связанные с незамерзанием акватории Москвы-реки и интенсификацией зимней подкормки уток посетителями парка.

Ключевые слова: кряква *Anas platyrhynchos*; Коломенское; динамика зимовки; численность и распределение крякв; влияние температуры воздуха; кормовое поведение; подкормка.

1. Зимовки водоплавающих птиц в средней полосе европейской России

Европейская Россия, за исключением самых южных её регионов (южные районы Дагестана, Черноморского побережья Кавказа и Крыма), по классификации В.С. Залетаева [3] и А.В. Михеева [5], относится к зоне так называемых «холодных зим». Эта зона характеризуется низкими зимними температурами и как следствие устойчивым снежным покровом и ледоставом на водоёмах и водотоках. В таких условиях по определению невозможна зимовка водоплавающих и околоводных птиц. В то же время естественные зимовки водоплавающих птиц в центральной части европейской России существовали и в прошлом (XIX век), что известно из работ Л.П. Сабанеева, Е. Бихнера, В.Л. Бианки и др. [6]. Как правило, естественные зимовки уток приурочены к незамерзающим ручьям и речкам с быстрым течением и ключами, к незамерзающим «окнам» болотных трясин.

В последние десятилетия отмечен заметный рост сброса в водоемы и водотоки подогретых вод и вод, содержащих биогенные элементы, создание искусственных водоемов (отстойники, водоемы-охладители и др.). Всё это происходит

на фоне экстремально тёплых зим со своеобразными климатическими рекордами, что способствует образованию новых акваторий, пригодных для зимовок водоплавающих и околоводных птиц в зоне «холодных зим». В результате возникли своеобразные анклавы с климатическими условиями, характерными, по классификации [3; 5], для «зоны мягких зим», ранее не встречавшиеся зимой в этих широтах.

2. Зимовка уток на Москве-реке в музее-заповеднике Коломенское

В течение более чем 30 лет (1984–2015 гг.) автором проведены учёты водоплавающих и околоводных птиц, зимующих на Москве-реке в границах музея-заповедника Коломенское (МЗК). В общей сложности обследован участок протяжённостью 2–3 км (до 4 км при наиболее протяжённых маршрутах). Ширина реки позволяла регистрировать уток на всей её акватории (включая урез противоположного берега) на протяжении всего учётного маршрута. За годы наблюдений участок реки в месте сброса тёплых (подогретых) вод (СТВ) ни разу не замерзал, даже при морозах в 30–40 °С. В экстремально тёплые зимы, которые периодически случаются в последние годы, в пределах МЗК не замерзает несколько километров акватории реки. Полученные результаты частично опубликованы [7–11].

На широте Москвы за орнитологическую зиму обычно принимают период времени начиная с 15–20 ноября по 15 марта, но собственно формирование зимнего орнитокомплекса водоплавающих (в основном, гусеобразные *Anseriformes* — *Tadorninae*, *Anatinae*, *Aythiinae*, а также поганкообразные *Podicipediformes*) и околоводных птиц (ржанкообразные *Charadriiformes* — чайки *Larus canus*, *L.ridibundus*, *L.argentstus*, *L.cachinnans*) начинается уже с октября, а его распад — в первой декаде апреля. За все годы наблюдений, начиная с зимы 1984/1985 гг., на Москве-реке в МЗК автором зарегистрировано 12 видов зимующих уток (см. табл. 1). В таблицу включены также осенние встречи чирка-свистунка. Совершенно очевидно, что наиболее многочисленным (доминирующим) и стабильным зимовщиком (фоновым видом) на протяжении всего периода мониторинга является кряква *Anas platyrhynchos*.

Что касается кряквы, то этот вид в Москве регулярно зимует с конца 1960-х – начала 1970-х гг. По данным К.Н. Благосклонова [2], в 1950-х гг. крякв выпускали на московские пруды с декоративными целями, где им обеспечивали полыньи для зимовки. Зимой численность крякв удваивалась за счёт осевших пролётных птиц, задерживающихся также на незамерзающих водоёмах, где имеется сброс тёплых вод. В парках были организованы зимние подкормки птиц; утки настолько привыкли к человеку, что бегали по асфальтированным парковым дорожкам, выпрашивая у прохожих корм. Уже к концу 1970-х гг. число зимующих в Москве крякв резко возросло (до 2 тысяч). А с 1998 по 2010 гг. число зимующих крякв увеличилось с 7,5 до 23 тысяч. Самые крупные скопления крякв зимуют на незамерзающих участках Москвы-реки [4]. Существует также специальное исследование по урбанизированной популяции кряквы города Москвы [1].

Таблица 1

Зимовка уток на Москве-реке в пределах МЗК на учётном маршруте 2–4 км (1984–2015 гг.)

Зимы	<i>Tf</i>	<i>Anp</i>	<i>Anc</i>	<i>Nr</i>	<i>Af</i>	<i>Afl</i>	<i>Am</i>	<i>Bc</i>	<i>Mlf</i>	<i>Ma</i>	<i>Ms</i>	<i>Mm</i>
1984/1985		130										
1985/1986		70			1							
1986/1987		98										
1987/1988		433										
1988/1989		319			3							
1989/1990		860										
1990/1991		1500										
1991/1992		*										
1992/1993		*				2						
1993/1994		233										
1994/1995		250										
1995/1996		300										
1996/1997		*										
1997/1998		*										
1998/1999		*										
1999/2000		*										
2000/2001		500			1							
2001/2002		1400				8		14				
2002/2003		500			2			24				
2003/2004		862			2	3	12	40		6		
2004/2005		555				38		34				
2005/2006		635						40				
2006/2007	4	1043				21		30		1		
2007/2008		1010				3	2	50		1		
2008/2009		788						63		9	1	
2009/2010		900						70			2–3	11
2010/2011		650	1				5	14			2	
2011/2012		750						35				
2012/2013	1	950				6	3	40	4	8		50
2013/2014		1500				4		79	0	3		100
2014/2015	4	1176	1	4	3	18	2	75	0	9		70

Условные обозначения: *Tf* — огарь (*Tadorna ferruginea*); *Anp* — кряква (*Anas platyrhynchos*); *Anc* — чирок-свистунок (*A. crecca*); *Nr* — красноносый нырок (*Netta rufina*); *Af* — красноголовая чернеть, или красноголовый нырок (*Aythya ferina*); *Afl* — хохлатая чернеть (*A. fuligula*); *Am* — морская чернеть (*A. marila*); *Bc* — гоголь (*Bucephala clangula*); *Mlf* — обыкновенный турпан (*Melanitta fusca*); *Ma* — луток (*Mergus albellus*); *Ms* — длинноносый, или средний крохаль (*M. serrator*); *Mm* — большой крохаль (*M. merganser*).

* — нет репрезентативных данных; пустые ячейки — вид не зарегистрирован.

3. Динамика численности крякв, зимующих на Москве-реке в МЗК

Зимовка кряквы на Москве-реке в МЗК изучается начиная с зимы 1984/1985 гг. С этого времени автор проводит здесь регулярные зимние учёты на маршруте протяжённостью до 4 км от пристани «Коломенское» (отсюда хороший обзор на плёс до Перервинского гидроузла) до железнодорожного моста. Регистрация крякв осуществлялась по всей акватории реки на протяжении всего маршрута: пристань — родник у реки — мостик (место впадения в Москву-реку Голосова, или Коломенского, ручья) — река до СТВ — плёс и излучина в районе СТВ — река до железнодорожного моста. Также учёты уток проходили на укороченном маршруте (рис. 1): пристань — плёс и излучина в районе СТВ (рис. 2). Всего проведено более 400 учётов, с максимумом 30 учётов зимой 2005/2006 гг.



Рис. 1. Схема зимнего учётного маршрута (2 км) вдоль Москвы-реки в МЗК (СТВ — сброс тёплых вод)



Рис. 2. Москва-река в МЗК в месте сброса тёплых вод

Полученные данные позволяют судить о многолетней динамике зимовки кряквы в МЗК (рис. 3).

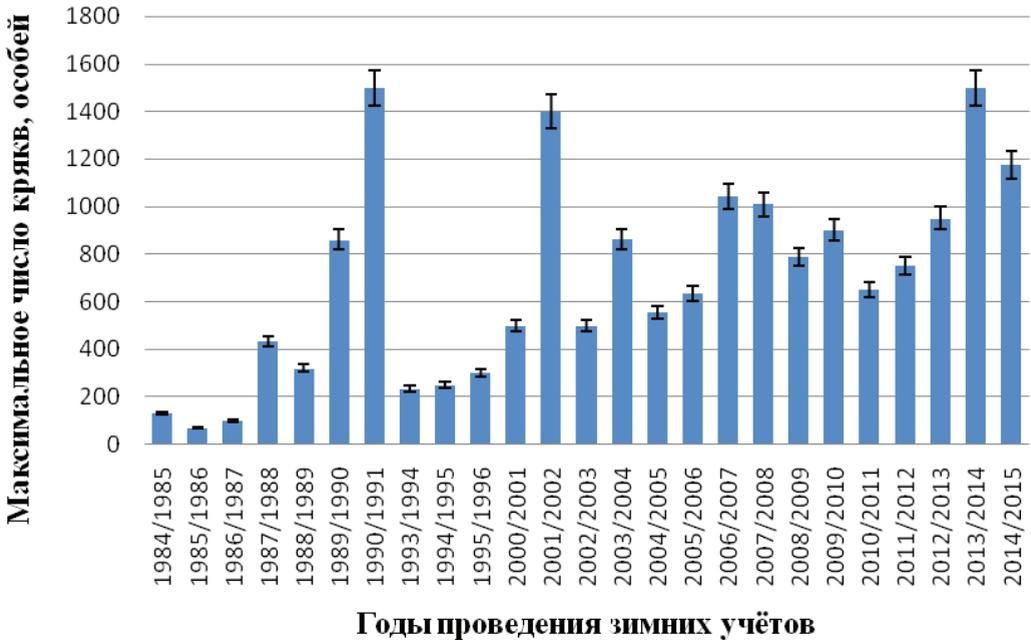


Рис. 3. Динамика зимовки крякв на Москве-реке в МЗК (1984–2015 гг.)

В 1990-х гг. в МЗК максимальная численность зимующих крякв зарегистрирована 3 декабря 1990 г. На 1,5–2 км реки учтено более 1 500 крякв, а 30 декабря 2001 г. — 1 300–1 400. Затем последовал спад — до 400–500 птиц. Впоследствии (2006–2010 гг.) численность зимовщиков достигла 800–1 000 птиц. В декабре 2013 г. учтено примерно до 1500 крякв на участке 2 км. В феврале 2015 г. (учёт студентки-дипломницы МПГУ В.М. Мартиросян) зафиксировано 1 176 крякв на маршруте 4 км. В целом наблюдается статистически достоверная тенденция к росту численности зимующих крякв:

$$y = 35,342x + 237,03 \quad (r = 0,61; P = 0,001).$$

Начиная с октября число крякв на Москве-реке начинает неуклонно возрастать. К середине зимы число зимовщиков достигает своего пика, а затем идёт на спад (рис. 4). Такой тип динамики характерен не для всех зим. Иногда наблюдается несколько иная картина, когда в начале зимы численность зимующих крякв бывает максимальной (рис. 5). Обе отмеченные тенденции статистически достоверны.



Рис. 4. Динамика зимовки крякв в 2006/2007 гг. на Москве-реке в МЗК

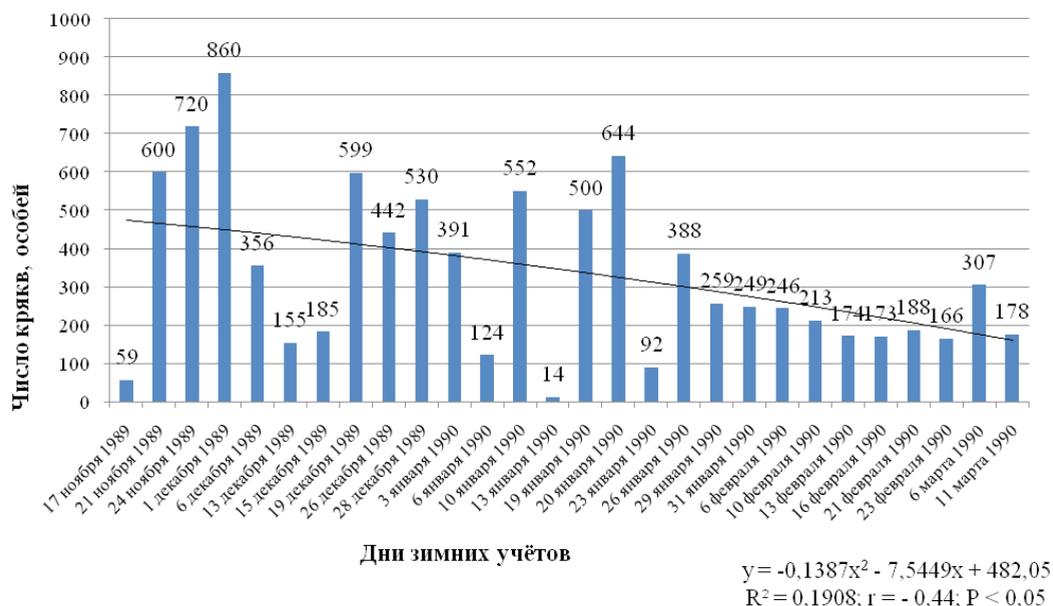


Рис. 5. Динамика зимовки крякв на Москве-реке в МЗК (зима 1989/1990 гг.)

4. Распределение крякв на зимовке в МЗК

Влияние зимних температур на распределение крякв. Распределение крякв, зимующих на акватории Москвы-реки в пределах МЗК, в значительной степени зависит от наличия ледостава на реке, а также от функционирования мест регулярной подкормки со стороны посетителей Коломенского. Следует отметить, что если раньше (1980–1990 гг.) максимальное число уток скапливались на незамерзающем плесе в месте СТВ, то в последние годы основная масса крякв придерживается мест подкормки (тем более, что Москва-река здесь тоже не стала замерзать), нередко отдыхая здесь же на кромке берега, а также на самой набережной.

В прежние годы прослеживалась однозначная тенденция — с усилением морозов, когда практически вся акватория реки замерзала, за исключением места СТВ и узкого (иногда всего 10 м) водного коридора посередине, наблюдалось заметное снижение числа крякв, зимующих на Москве-реке в МЗК. Например, зимой 1989/1990 гг., когда было проведено 28 зимних учётов крякв в МЗК, выявлена следующая статистически достоверная тенденция, описанная полиномиальной линией тренда: с незначительным понижением температуры примерно до 2 °С, наблюдался некоторый рост численности зимующих крякв, после чего, по мере усиления морозов, число крякв начинало резко снижаться (рис. 6).

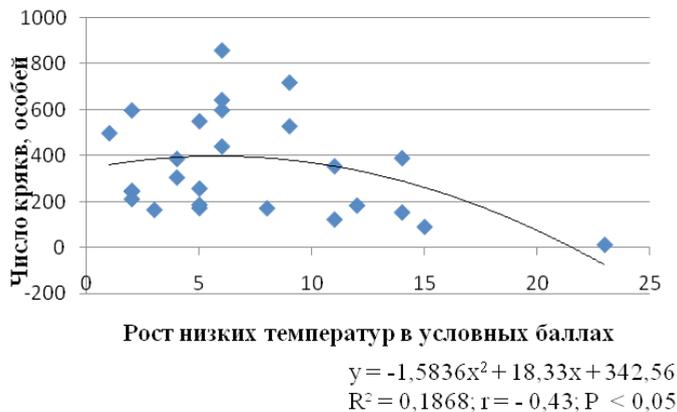


Рис. 6. Динамика численности крякв, зимующих на Москве-реке в МЗК, в зависимости от температуры воздуха (зима 1989/1990 гг.):

Комментарии к рисунку 6: самую высокую зимнюю температуру воздуха +3 °С, отмеченную 19 января мы приняли за 1 условный балл, а самую низкую (–19 °С отмечено 13 января) — за 23 балла, соответственно

В последние годы в условиях интенсивной подкормки крякв, а также на фоне зим с экстремально высокими температурами (до +4 ... +6 °С, а в начале марта до +10 °С) картина зимнего распределения уток существенно изменилась. В этой связи показательны данные за 2014/2015 гг. (рис. 7; использованы данные студентки-дипломницы МГПУ В.М. Мартиросян).

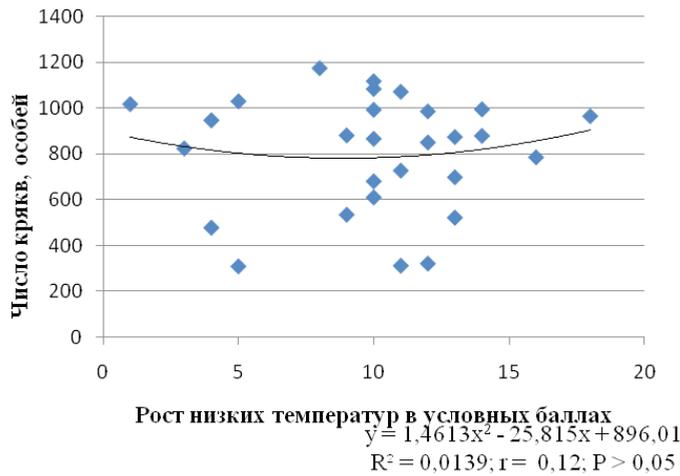


Рис. 7. Динамика численности крякв, зимующих на Москве-реке в МЗК, в зависимости от температуры воздуха (зима 2014/2015 гг.)

Сложившуюся ситуацию можно объяснить следующим образом: во-первых, основная масса уток зимой всё время держится возле мест подкормки, в то время как раньше это был плёс в месте СТВ; во-вторых, в морозы посетители МЗК более регулярно и интенсивно подкармливают крякв, концентрация которых в местах подкормки в морозы заметно увеличивается. Также картина осложняется более глобальными процессами, влияющие на зимнюю динамику численности крякв в МЗК. В частности, с изменениями температуры воздуха возможно перераспределение части крякв, зимующих в пределах г. Москвы. Что касается распределения крякв по местам подкормки, то здесь наблюдается тенденция (статистически недостоверная) к концентрации крякв на местах подкормки с ростом низких температур окружающей среды (рис. 8), т. е. совершенно противоположная картина сравнительно с зимой 1989/1990 гг. (см. рис. 6).

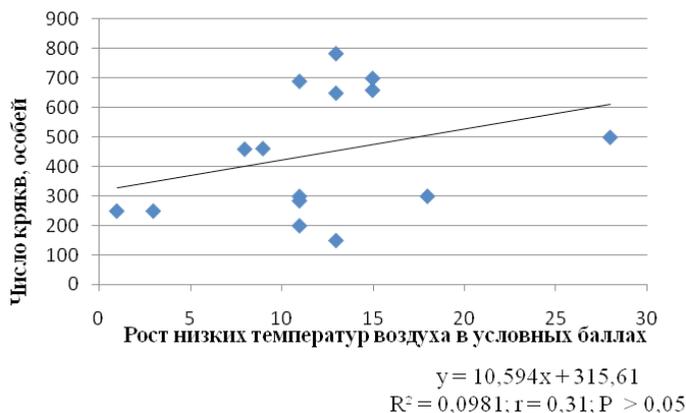


Рис. 8. Динамика численности крякв на местах подкормки (МЗК, зима 2014/2015 гг.)

Получены также данные по распределению крякв по маршруту. Здесь также картина резко менялась по годам. Зимой 1984/1985 гг. практически все кряквы держались на плёсе в месте СТВ, затем, начиная с зимы 1986/1987 гг. постепенно стала расти доля мест подкормки в районе пристани, родника и мостика через ручей. К настоящему времени (зима 2014/2015 гг.) доля мест подкормки возросла до максимума, а доля участка СТВ заметно упала; в некоторые дни там вообще не было уток (рис. 9). По усреднённым данным за 30 учётов (использованы материалы дипломной работы 2015 г. В.М. Мартиросян), проведённых в последнюю зиму, доля СТВ составила всего 11 %, в то время как на местах подкормки сосредотачивалось в среднем 89 % от всего числа учённых крякв.

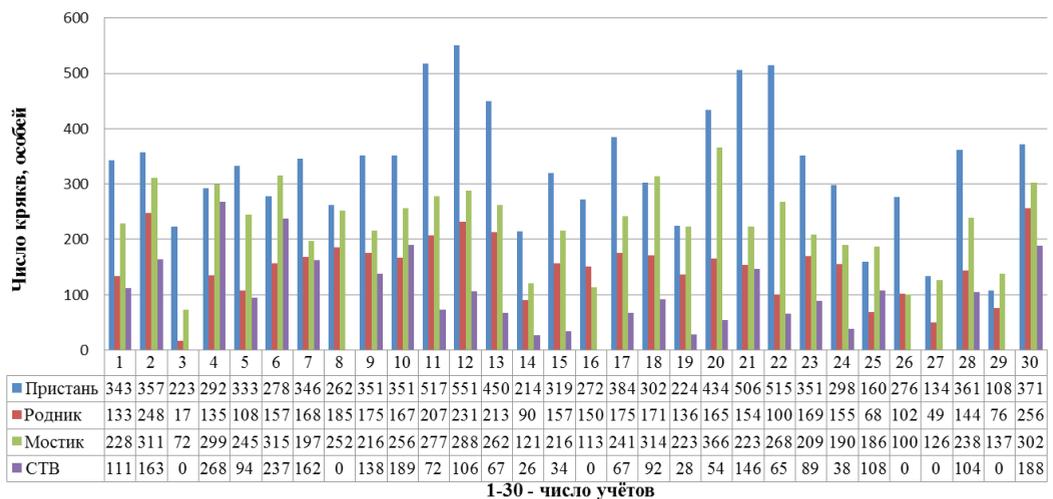


Рис. 9. Распределение крякв по участкам маршрута на Москве-реке в МЗК зимой 2014/2015 гг.

5. Экология и поведение крякв на зимовке в МЗК

Соотношение полов зимующих крякв. Самцы и самки крякв (рис. 10) хорошо различимы в полевых условиях, что позволяет с лёгкостью определять соотношение полов в скоплениях птиц даже с большого расстояния (рис. 11). Соотношение полов ($\text{♂♂}:\text{♀♀}$) у крякв, зимующих на Москве-реке в МЗК — 1 : 0,83 ($n = 786$) [7]. На зимовке в 2014/2015 гг. соотношение полов у кряквы на 4-километровом маршруте (22 февраля 2015 г.; данные В.М. Мартиросян) показало тот же результат — 1 : 0,826 ($n = 1176$), что свидетельствует в пользу стабильности указанного показателя.

Ночёвка крякв. На ночёвке (сентябрь – начало апреля) кряквы обычно концентрируются у мест подкормки (пристань, родник, мостик). Как правило, птицы держатся на урезе у кромки воды, на обнажившемся у берега дне реки или на мелководье. Значительная часть птиц ночует на урезе противоположного естественного и непосещаемого берега реки. Например, 18 января 2002 г. на заснеженных (даже

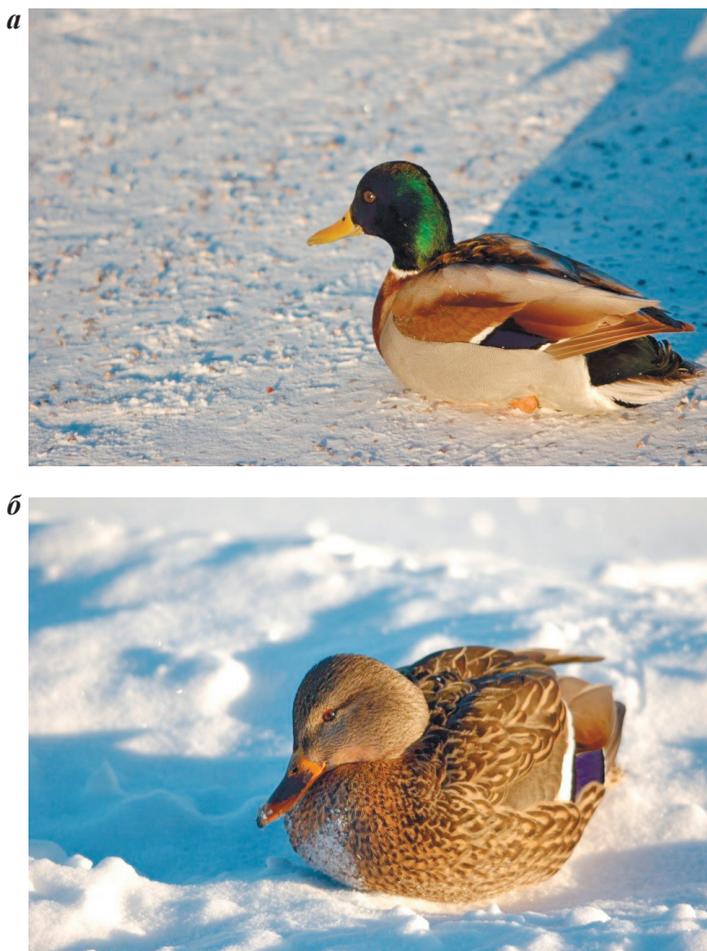


Рис. 10. Самец (*а*) и самка (*б*) крякв на зимовке в МЗК (22 января 2013 г.)



Рис. 11. Кряквы на Москве-реке в МЗК (19 января 2015 г.)

в темноте птицы были хорошо видны на фоне снега) заберегах противоположного берега на участке «мостик – СТВ» ночевало почти 400 крякв. Подобный тип распределения уток наблюдается и во время их дневного отдыха. Так, 21 февраля 2002 г. из 450 учтённых крякв не менее 400 было сосредоточено на заберегах противоположного берега реки. В феврале – марте 2006 г. до 100–200 крякв ночевало на плёсе в месте СТВ.

Проведение учётов уток перед наступлением темноты в принципе указывает, что все они остаются здесь же на ночёвке. 14 декабря 2007 г. учтено 1 010 крякв, из которых 320 были сосредоточены вдоль уреза противоположного берега. На ночёвке 3 февраля 2015 г. только на отрезке «мостик – родник» (без плохо видимого противоположного берега) учтено 660 крякв. К этому числу ещё следует добавить порядка 200–250 крякв, которые в эти дни постоянно ночевали возле пристани «Коломенское».

При сильном беспокойстве кряквы могут перемещаться на другие места. Например, вечером (в 20 час.) 31 декабря 2008 г. из-за шума петард и фейерверков примерно 300 крякв покинули основные места ночёвки вдоль нашего берега и полетели дальше вниз по реке.

Ночующие утки также активно реагируют на подкормку и с уреза обнажившейся отмели (иногда до 50–100 м от коренного берега) бегут и летят к тому месту набережной, откуда им бросают кусочки белого хлеба. Интересно отметить, что за границами МЗК кряквы пугливы и при подходе человека к воде заблаговременно отплывают от берега на середину реки.

2 февраля 2010 г. семь крякв образовали, видимо, предночëвочное (время 19.20) скопление на заснеженных газонах у центрального административного здания МЗК. 24 февраля здесь же вечером держались две пары крякв.

Поздно осенью (включая первую декаду ноября), вплоть до полного замёрзания прудов в МЗК, небольшие группы крякв (до 6–7 особей) остаются на ночёвку на полыньях.

Весной кряквы постепенно покидают реку, хотя некоторые птицы периодически могут быть встречены здесь в течение всего лета. В конце марта – апреле отдельные пары крякв и небольшие группы (до 3–6 особей; иной раз — только самцы) ночуют на лужах, образовавшихся после интенсивного таяния снега. Таких мест предостаточно в верховьях и на дне отрогов Голосова оврага, а также в Дьяковом овраге и в плодовых садах. 18 марта 2007 г. (+7 °С) пара крякв ночевала в яблоневом саду возле жилого дома по Коломенскому проезду. В мае пары уток ночуют на лужайках в Казанском, Вознесенском (Аптекаарском) и Дьяковском яблоневых садах, в плодовых садах у Голосова и Дьякова оврагов, а также — среди травы у вековых дубов возле домика Петра I и усадьбы пчеловода, на искусственных водоемах. Можно предположить, что у конкретных пар существуют свои излюбленные места, где они остаются на ночёвку. Например, поздно вечером (22 час.) в Казанском саду, вероятно, одна и та же пара крякв держалась с 17 по 28 мая 2011 г.

Зимняя подкормка крякв. В середине 1980-х гг. значительная часть акватории реки, за исключением места СТВ, в МЗК замерзала. Подкормка крякв

в те годы не осуществлялась — собственно говоря, даже не было набережной, пригодной для зимних прогулок вдоль реки. Только начиная с зимы 1987/1988 гг. с ростом числа посетителей МЗК, стала проводиться (сначала нерегулярная) подкормка крякв людьми. Основными местами подкормки стали: пристань «Коломенское» (рис. 12), родник у реки (см. рис. 13) и река у мостика через Голосов, или Коломенский, ручей. Кстати, именно начиная с этого времени значительно возросло число крякв у мест подкормки и сократилось на плёсе в месте СТВ. В последние годы на местах подкормки в целом собирается до 300–500 и даже более 1 000 крякв. Например, 18 февраля 2015 г. только в районе пристани на подкормке было зарегистрировано порядка 500 крякв.

Подкормка уток происходит как на самом берегу, так и на воде у обнажившихся отмелей. Утки совершенно не боятся людей, гуляющих по набережной, а также проезжающего служебного автотранспорта. В дни, когда посетителей в парке мало, кряквы, находящиеся на реке, заметив человека, подошедшего к воде, тут же подплывают к берегу в надежде на подкормку.



Рис. 12. Подкормка крякв и сизых голубей на набережной Москвы-реки у пристани «Коломенское» (МЗК, 6 февраля 2014 г. и 19 января 2015 г.)



Рис. 13. Скопление крякв в районе родника (МЗК, 22 января 2013 г.)

На местах подкормки также собираются десятки сизых голубей *Columba livia f. domestica*, серых ворон *Corvus cornix*, галок *C. monedula* и полевых воробьёв *Passer montanus*. Отмечено явление клептопаразитизма галок по отношению к кряквам. В частности, 25 февраля 2015 г. на набережной у пристани на подкормке собралось более 50 крякв. Как обычно, среди уток кормилось несколько галок. Одна из галок несколько минут ходила за кряквой, которая пыталась проглотить большой кусок белого хлеба, периодически роняя и подбирая его. Галка не пыталась отнять хлеб у кряквы, а терпеливо выжидала удобного момента, чтобы получить свою долю.

Кряквы положительно реагируют даже на брошенные в моду камушки — тут же подплывают к этому месту и «перевёртываются», стараясь достать затонувший мнимый пищевой объект.

В качестве необычного места подкормки следует отметить кормёжку самца кряквы в компании с 10 сизыми голубями крошками хлеба на тротуаре около входа в административное здание МЗК. Было это вечером (16.10) 27 января 2010 г. при температуре — 15 °С.

Кормовое поведение крякв. Помимо посещения мест подкормки кряквы используют естественные методы разыскивания и добывания корма. Для крякв в любое время года характерно добывание корма из положения «на плаву»: 1) фильтрование (продолжительность акта «щелоктания» до 30 сек.); 2) попеременное погружение в воду клюва при взятии корма с поверхности и поверхностных слоёв воды; 3) погружение в воду головы и шеи; 4) «перевёртывание» («up-ending») (рис. 14) нередко используется на мелководье при добывании корма со дна; иногда на долю «перевёртывания» приходится 80–90 % кормовых актов; 5) ныряние на глубину 1–2 м с полным погружением на несколько секунд (максимум до 9–11) (рис. 15), которое может носить массовый характер [9]. Также кряквы кормятся, используя наземный тип локомоций (ходьбу): 1) «пешая» охота на мелководье (лужи, мелководье реки) (рис. 16) — поверхность дна обследуется



Рис. 14. Кормовой метод кряквы — «перевёртывание» («up-ending»)



Рис. 15. Ныряние селезня (вверху) пары крякв (внизу) в районе пристани «Коломенское» в МЗК (на заднем плане пара красноногих нырков. 6 марта 2015 г.)



Рис. 16. Селезень кряквы кормится на мелководной луже (берег набережной Москвы-реки у пристани «Коломенское» в МЗК. 29 марта 2013 г.)

при помощи фильтрующих движений половинок клюва; 2) «пешая» охота на газонах; в тёплые зимы такое поведение наблюдается постоянно.

В некоторых случаях кряквы подбирают корм под кормушками, развешенными на кустах у реки для синиц и воробьёв (рис. 17.).



Рис. 17. Кряквы вместе с полевыми воробьями, галками и сизыми голубями подбирают корм под кормушкой (около родника, 29 марта 2013 г.)

Заключение

В последние зимы в связи с продолжительными периодами положительных температур воздуха, а также в результате интенсивного сброса в реку тёплых (подогретых) вод, акватория Москвы-реки в рамках музея-заповедника Коломенское практически никогда не замерзает. В результате этого зимовка водоплавающих и околоводных птиц на реке стала носить регулярный характер, растёт видовой состав птиц-зимовщиков. Доминирующим видом среди них

по-прежнему является кряква. К настоящему времени здесь сформировалась довольно многочисленная урбанизированная популяция зимующих крякв, которые в значительной степени ориентированы на зимнюю подкормку со стороны человека.

Литература

1. *Авилова К.В., Корбут В.В., Фокин С.Ю.* Урбанизированная популяция водоплавающих (*Anas platyrhynchos*) г. Москвы. М.: DJVU, 1994. 175 с.
2. *Благосклонов К.Н.* Авифауна большого города и возможности её преобразования // Экология, география и охрана птиц. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1980. С. 144–155.
3. *Залетаев В.С.* Географические типы зимовок и некоторые вопросы охраны водоплавающих птиц на южных морях СССР // Охрана природы и заповедное дело в СССР. 1960. № 6. С. 52–66.
4. *Калякин М.В., Волцит О.В., Гроот Куркамп Х., Резанов А.Г.* и др. Атлас птиц города Москвы / Науч. ред. Н.С. Морозов. М.: Фитон XXI, 2014. 332 с.
5. *Михеев А.В.* Роль факторов среды и формирование сезонных миграций птиц Восточной Палеарктики // Материалы по фауне и экологии животных. М.: Наука, 1964. С. 3–277.
6. *Птушенко Е.С., Иноземцев А.А.* Биология и хозяйственное значение птиц Московской области и сопредельных территорий. М.: МГУ, 1968. С. 1–461.
7. *Резанов А.Г.* Материалы по птицам и некоторым видам млекопитающих Коломенского и его окрестностей // Актуальные вопросы экологии и биологии: наука и образование. Т. 2. М.: МГОПУ, 2002. С. 42–63.
8. *Резанов А.Г.* Зимовка птиц на реке Москве в Коломенском в 2006–2007 годах // Рус. орнитол. журн. 2007. № 16 (375). С. 1177–1182.
9. *Резанов А.Г.* Массовое ныряние крякв *Anas platyrhynchos* при добывании корма в феврале – апреле 2015 года на реке Москве в Коломенском: оценка явления // Рус. орнитол. журн. 2015. № 24 (1145). С. 1788–1795.
10. *Резанов А.Г., Резанов А.А.* О зимовке водоплавающих и околоводных птиц в Коломенском (Москва) в 2001–2004 годах // Рус. орнитол. журн. 2004. № 13 (250). С. 46–48.
11. *Резанов А.Г., Резанов А.А.* История формирования зимовки водоплавающих и околоводных птиц на реке Москве в Коломенском // Problemele actuale ale protecției și al orificărilor durabile a diversității lumii animale. Materialele Conf. a VI-a a Zool. Din Rep. Moldova. Chișinău. 2007. S. 55–56.

Literatura

1. *Avilova K.V., Korbut V.V., Fokin S.Yu.* Urbanizirovannaya populyaciya vodoplavayushhix (*Anas platyrhynchos*) g. Moskvyy'. М.: DJVU, 1994. 175 s.
2. *Blagosklonov K.N.* Avifauna bol'shogo goroda i vozmozhnosti eyo preobrazovaniya // E'kologiya, geografiya i oxrana pticz. L.: Zool. in-t AN SSSR, 1980. S. 144–155.
3. *Zaletaev V.S.* Geograficheskie tipy' zimovok i nekotory'e voprosy' oxrany' vodoplavayushhix pticz na yuzhny'x moryax SSSR // Oхрана prirody' i zapovednoe delo v SSSR. 1960. № 6. S. 52–66.
4. *Kalyakin M.V., Volcit O.V., Groot Kurkamp X., Rezanov A.G.* i dr. Atlas pticz goroda Moskvyy' / Nauch. red. N.S. Morozov. М.: Фитон XXI, 2014. 332 с.

5. *Mixeev A.V.* Rol' faktorov sredy' i formirovanie sezonny'x migracij pticz Vostochnoj Palearktiki // *Materialy' po faune i e'kologii zhivotny'x.* M.: Nauka, 1964. S. 3–277.
6. *Ptushenko E.S., Inozemcev A.A.* Biologiya i khozaystvennoe znachenie pticz Moskovskoy oblasti i sopredel'ny'x territorij. M.: MGU, 1968. S. 1–461.
7. *Rezanov A.G.* Materialy' po pticzam i nekotory'm vidam mlekopitayushhix Kolomenskogo i ego okrestnostej // *Aktual'ny'e voprosy' e'kologii i biologii: nauka i obrazovanie.* T. 2. M.: MGPU, 2002. S. 42–63.
8. *Rezanov A.G.* Zimovka pticz na reke Moskve v Kolomenskom v 2006–2007 godax // *Rus. ornitol. zhurn.* 2007. № 16 (375). S. 1177–1182.
9. *Rezanov A.G.* Massovoe ny'ryanie kryakv *Anas platyrhynchos* pri doby'vanii korma v fevrale – aprele 2015 goda na reke Moskve v Kolomenskom: ocenka yavleniya // *Rus. ornitol. zhurn.* 2015. № 24 (1145). S. 1788–1795.
10. *Rezanov A.G., Rezanov A.A.* O zimovke vodoplavayushhix i okolovodny'x pticz v Kolomenskom (Moskva) v 2001–2004 godax // *Rus. ornitol. zhurn.* 2004. № 13 (250). S. 46–48.
11. *Rezanov A.G., Rezanov A.A.* Istoriya formirovaniya zimovki vodoplavayushhix i okolovodny'x pticz na reke Moskve v Kolomenskom // *Problemele actualeale protecțieișival orificăriidurabile a deversității lumiianimale. Materialele Conf. a VI-a a Zool. Din Rep. Moldova.* Chișinău. 2007. S. 55–56.

A.G. Rezanov

**The Wintering of Mallard *Anas Platyrhynchos* on Moskva River
in Museum-Reserve «Kolomenskoe» in the Period from 1984 to 2015 years**

This article considers a long standing (1984–2015) dynamics of wintering of mallard *Anas platyrhynchos* on Moskva river in Museum-reserve «Kolomenskoe». Mallard is the largest number species from 12 species of ducks which were recorded during wintering in Kolomenskoe. Some aspects of ecology and behaviour of wintering mallards are highlighted: influence of winter temperatures on number and character of distribution of ducks, reaction of birds on feeding, distribution of ducks on roosting, feeding behaviour. The changes in winter distribution of mallards which are connected with not freezing of river area of water and intensification of winter feeding of ducks by visitors to the park were recorded.

Keywords: mallard *Anas platyrhynchos*; Kolomenskoe; dynamics of wintering; number and distribution of mallards; influences of air temperatures; feeding behaviour; feeding.

Е.О. Фадеева

Диагностические возможности контурного пера птиц на основе его микроструктуры

В материале представлены результаты таксономической идентификации ископаемых остатков на основе сравнительного электронно-микроскопического анализа микроструктуры фрагментов контурных перьев птиц, сохранившихся в шерсти и копрофоссилиях мамонта позднеледниковых отложений Северо-востока России. Показана диагностическая значимость компартиментов тонкой морфологии контурного пера как основных маркеров видовой идентификации ископаемых остатков птиц при изучении таксономической структуры орнитокомплексов, характерных для плейстоценовой биоты.

Ключевые слова: ископаемые остатки; электронно-микроскопическое исследование; контурное перо; микроструктура пера.

В настоящее время вопрос диагностических возможностей микроструктуры контурного пера в контексте проблемы таксономической идентификации ископаемых остатков птиц, характерных для плейстоценовой биоты, весьма актуален.

Определение таксономической принадлежности различных видов птиц по микроструктурным признакам оперения без привлечения макроморфологических особенностей перьевого покрова (тип оперения крыла, форма, окраска, размеры, пропорции отдельных перьев) является актуальной задачей в неонтологии при исследовании спектра видоспецифических микроструктурных экологоморфологических адаптаций птиц, а также в четвертичной палеонтологии и палеоэкологии при изучении таксономической структуры позднеплейстоценовых-голоценовых орнитокомплексов.

Объектами палеонтологических исследований являются любые ископаемые биологического происхождения, для обозначения которых широко используют общепринятые термины «органические остатки»: «ископаемые» или «фоссилии» (*лат.* *fossilis* — погребенный, ископаемый). В зависимости от степени сохранности и специфики остатков выделяют несколько категорий ископаемых (например, субфоссилии, эуфоссилии, ихнофоссилии, копрофоссилии, хемофоссилии).

Субфоссилии (*лат.* *sub* — под, почти), встречающиеся в основном в четвертичных отложениях, представлены ископаемыми, у которых сохранился не только скелет, но и слабоизмененные мягкие ткани. Консервантами для таких

ископаемых являются вечная мерзлота, различные, вулканические пеплы, золотые пески. К субфоссилиям относятся найденные останки животных из четвертичных отложений, например, мамонтов, носорогов, некоторых видов птиц.

К субфоссилиям принадлежат и уникальные находки некоторых представителей крупных млекопитающих мамонтового фаунистического комплекса (мамонт, шерстистый носорог, бизон, лошадь) из многолетнемерзлых отложений Северо-востока России, а также органические остатки, сохранившиеся в шерсти и в копрофоссилиях (*греч.* *kopros* — помёт, навоз) крупных млекопитающих ледникового периода. Субфоссилии, ассоциированные с шерстью, а также с ископаемыми остатками жизнедеятельности (копрофоссилиями) млекопитающих мамонтового фаунистического комплекса, представлены многочисленными остатками растений и животных (пыльца, семена, фрагменты хитинового покрова насекомых, раковин моллюсков, перьев птиц), что позволяет использовать их в качестве палеосредовых и палеоэкологических маркеров, несущих информацию о специфике плейстоценовой биоты разного уровня — от биотических комплексов на континентальном уровне, до региональных и локальных биотических компонентов в структуре позднеплейстоценовых-голоценовых экосистем Северо-востока России.

С целью выявления таксономической структуры орнитокомплексов, характерных для времени обитания мамонтовой фауны в позднем плейстоцене-голоцене, нами проведена таксономическая идентификация субфоссилий, представленных фрагментами перьев птиц, ассоциированных с шерстью, а также с ископаемыми остатками жизнедеятельности крупных млекопитающих мамонтового фаунистического комплекса многолетнемерзлых отложений Северо-востока России.

Материалом для работы послужили фрагменты контурных перьев птиц, сохранившиеся в шерсти и копрофоссилиях мамонта, собранных в среднем течении реки Большая Чукочьа (Северная Якутия) в позднечетвертичных аласовых отложениях (коллекционный номер F-2362/1, ООО «Национальный Альянс Шидловского «Ледниковый Период»», г. Москва). Предварительный анализ шерсти, копрофоссилий мамонта и ассоциированных с ними многочисленных органических остатков, представленных, в том числе, и фрагментами перьев птиц, подтвердил их возраст и уникальную сохранность в многолетней мерзлоте Якутии. Таким образом, данные находки ископаемых остатков представляют собой компактно собранную и сохранившуюся до нашего времени достоверную информацию о биоте одного из временных срезов позднего ледникового на Северо-востоке России [1].

Фрагментарный характер сохранности исследуемого материала полностью исключает применение таксономической диагностики ископаемых остатков, основанной на методе сравнительного анализа внешних макро-морфологических особенностей перьевого покрова, общепринятом и широко используемом в практике диагностики систематической принадлежности

различных видов птиц. В данном случае требуется выявление видоспецифических особенностей тонкого строения пера, т.е. его микроструктуры. Метод световой микроскопии, применяемый для изучения микроструктуры перьев и их фрагментов, дает общее представление о микроструктуре пера, но из-за малой разрешающей способности, ограниченной длиной световой волны, данный метод не позволяет визуализировать тонкую морфологию пера и выявить основные критерии видовой идентификации птиц. Следовательно, ведущая роль в таксономической диагностике фрагментов перьев отводится сравнительному электронно-микроскопическому анализу с применением сканирующего электронного микроскопа, вследствие чего детали микроструктуры пера хорошо различимы [5].

Для проведения сравнительного электронно-микроскопического анализа ископаемых остатков птиц было исследовано девять фрагментов контурных перьев птиц, извлеченных из трех проб ископаемых остатков мамонта (две пробы — из шерсти, одна проба — из копрофоссилий).

Перья тщательно промывали в дистиллированной воде, высушивали на воздухе и фотографировали с помощью цифровой камеры Canon EOS 7D (Canon Inc., Япония) с установленным объективом SIGMA AF 50 mm F/2.8 EX DG Macro для Canon (Япония). Описание микроструктуры фрагментов перьев проводилось на основе неоднократно апробированного нами метода качественного сравнительного электронно-микроскопического анализа наиболее информативных элементов в строении бородок первого порядка (далее бородки I) и бородок второго порядка (далее бородки II) контурной и пуховой частей опахала [2; 3; 5].

Предварительное исследование микроструктуры бородок методом световой микроскопии позволило выявить лишь некоторые особенности пигментации отдельных участков бородок.

Для исследования в сканирующем электронном микроскопе была проведена специальная подготовка препаратов. Бородки перьев проводили по восходящему ряду спиртов до ацетона, высушивали на воздухе и размещали на плате, в основании бинокулярного стереоскопического микроскопа MC-2 ZOOM, предназначенного для тонких препаровальных работ.

Отпрепарированные бородки, в том числе поперечные и продольные срезы, переносили на предметные алюминиевые столики и фиксировали электропроводящим клеем. Подготовленные препараты напыляли золотом методом ионного напыления в условиях вакуума на установке Edwards S-150A (Великобритания), просматривали и фотографировали с применением сканирующего электронного микроскопа JEOL-840A (Япония), при ускоряющем напряжении 15 кВ.

В целом изготовлено 83 препарата бородок опахала исследованных фрагментов контурных перьев птиц плестоценовой биоты, на основании которых сделано и проанализировано 245 электронных микрофотографий (электросканограмм).

Анализ полученных электросканограмм позволил подробно исследовать ряд видоспецифических особенностей микроструктуры фрагментов перьев, встречающихся в трех исследуемых пробах.

Результаты сравнительного электронно-микроскопического анализа ископаемых остатков птиц, ассоциированных с шерстью мамонта, из позднеледниковых отложений Северо-востока России (Проба 1).

Перо 1. Фрагмент контурной части опахала пера (0,6 см) белого цвета. Методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) выявлено: поперечный срез бородки I уплощенный эллипсоидный с небольшими гребнями; сердцевина однорядная; полости полиморфные; их перегородки складчатые, неравномерно утолщенные. В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее данными [6] это перо определено как перо гусеобразных прежде всего на основе орнамента кутикулярной поверхности, характерного для гусеобразных, особенно представителей рода *Anser*: рельеф кутикулы сглаженный, ребристый, образован продольно вытянутыми 5–6-угольными веретеновидными кутикулярными клетками. В структуре кутикулы данного пера границы клеток слегка утолщены и потому слабо различимы, что характерно для кутикулы белолобого гуся *Anser albifrons*. Дистальные бородки II опахальца бородки I имеют расширенную базальную часть, крючочки и волосовидные реснички в структуре перышка; проксимальные бородки II образуют тонкие ветви с дорсальной каймой.

Перо 2. Контурное перо (1,3 см) с хорошо сохранившимся опахалом кремового цвета с оттенками охристого и светло-коричневого, с темно-коричневой каймой на вершине. Методом SEM выявлено: поперечный срез бородки I контурной части опахала каплевидной формы с зауженной дорсальной частью и уплощенной вентральной; сердцевина одно-двухрядная; полости полиморфные; каркас из многочисленных тонких кератиновых нитей. В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее данными [6] это перо определено как перо гусеобразных, возможно рода *Anser* или рода *Cygnopsis*, по следующим нижеуказанным признакам. Методом световой микроскопии установлено отсутствие пигмента в узлах и междуузлиях бородок II пуховой части опахала (далее — пуховые бородки II), что соответствует специфике пигментации пера у представителей гусеобразных. Методом SEM выявлено, что междуузлия пуховых бородок II плавно переходят в нерасширенные узлы с двумя игловидными шипами в апикальной части, что характерно, в частности, для гуменника *Anser fabalis* и сухоноса *Cygnopsis cygnoides*.

Перо 3. Контурное перо (0,7 см) с частично сохранившимся опахалом кремового цвета с оттенками охристого и светло-коричневого. Методом SEM выявлено: поперечный срез бородки I контурной части опахала эллипсоидный, сердцевина однорядная, стенки сердцевинных полостей с крупными складками. В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее

данными [6] это перо определено как перо курообразных, в частности, как перо серой куропатки *Perdix perdix*, на основе следующих признаков. Методом световой микроскопии выявлена сильная пигментация узлов пуховых боронок II: пигмент сконцентрирован в срединной части узла; отдельные пигментированные участки встречаются в междуузлиях. Методом SEM в структуре пуховых боронок II отмечено плотное расположение незначительно расширенных узлов с четырьмя небольшими коническими зубцами, продольная ребристость поверхности междуузлий и узлов, характерная для микроструктуры пера серой куропатки [4].

Перо 4. Фрагмент пуховой части опахала контурного пера (0,7 см) кремового цвета. Методом SEM выявлено: поперечный срез боронок I эллипсоидной формы, корковый слой преобладает, имеет плотную структуру, сердцевина отсутствует. В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее данными [6] это перо определено как перо гусеобразных, конкретно рода *Anas*, на основе следующих признаков. Применение световой микроскопии выявило частичное присутствие пигмента на границе узла и междуузлия (апикальная часть междуузлия) в сегментах пуховых боронок II, характерное для ряда представителей рода *Anas*, в частности для чирка-трескунка *Anas querquedula*. Методом SEM в структуре пуховых боронок II отмечено наличие сильно расширенных трехгранных узлов и междуузлий с продольной ребристостью и треугольной щелью в апикальной части, характерных для представителей рода *Anas*, в частности, для кряквы *Anas platyrhynchos*, чирка-свистунка *A. crecca*, серой утки *A. strepera*, свиязя *A.s penelope*, шилохвости *A. acuta*, чирка-трескунка *A. querquedula*, широконоски *A. clypeata* [6]. Кроме того, в структуре пуховых боронок II, по направлению к дистальной части боронок (апикальный участок), крупные трехгранные узлы сменяются слабо расширенными узлами с некрупными зубцами, затем — неширокими с двумя длинными иглоподобными шипами. Эта особенность также выявлена нами ранее при исследовании микроструктуры пера у перечисленных выше представителей рода *Anas*.

Результаты сравнительного электронно-микроскопического анализа ископаемых остатков птиц, ассоциированных с шерстью мамонта, из позднеледниковых отложений Северо-востока России (Проба 2).

Перо 5. Фрагмент пуховой части опахала контурного пера (0,8 см) кремового цвета с легким охристым оттенком. Методом SEM выявлено: поперечный срез боронок I каплевидной формы, с зауженной дорсальной частью, ventральный гребень не развит; сердцевина однорядная; полости разной формы и размера (см. рис. 1).

Базальные клетки в основании боронок II уплощенные, веретеновидные; узлы кольцеобразной формы. В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее данными [6] это перо определено как перо курообразных

по следующим признакам. Применение световой микроскопии выявило частичное присутствие пигмента в междуузлиях и в узлах пуховых бородок II, характерное для большинства представителей курообразных, в частности для глухаря *Tetrao urogallus*, серой куропатки *Perdix perdix* [6]. Кроме того, ярким идентифицирующим признаком в микроструктуре данного пера являются характерные для курообразных кольцеобразные расширения апикальной части сегментов пуховых бородок II (узлы-кольца), выявленные методом SEM [4]. Предположительно, данное перо может принадлежать белой куропатке *Lagopus lagopus* или тундряной куропатке *L. mutus*. У серой куропатки более сильная пигментация узлов и кольцеобразные узлы не выявлены.

Перо 6. Фрагмент пуховой части опахала контурного пера (0,5 см) кремового цвета с легким охристым оттенком. Методом SEM выявлено: поперечный срез бородки I эллипсоидной формы с зауженной дорсальной частью; сердцевинный тяж представлен однорядной совокупностью воздухоносных полостей разной формы и размера. Базальные клетки в основании бородок II уплощенные и сильно расширены. В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее данными [6] это перо определено как перо курообразных по следующим признакам. Применение световой микроскопии выявило частичное присутствие пигмента в междуузлиях и в узлах пуховых бородок II. Методом SEM установлено наличие характерных для большинства курообразных кольцеобразных расширений апикальной части сегментов пуховых бородок II (узлы-кольца) (см. рис. 2). В целом, микроструктура данного пера сходна с вышеописанным пером 5, что позволяет предположительно идентифицировать его как перо белой куропатки *Lagopus lagopus* или тундряной куропатки *L. mutus*.

Перо 7. Контурное перо (1 см) белого цвета с хорошо сохранившимся симметричным опахалом с разреженной пластиной в контурной части и относительно густой пуховой частью в проксимальной области. В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее данными [6] это перо определено как перо гусеобразных. Применение световой микроскопии выявило отсутствие пигмента в узлах пуховых бородок II, что соответствует специфике пигментации пера у представителей гусеобразных, в частности у лебедя-кликун *Cygnus Cygnus*, малого лебедя *C. bewickii*, лебедя-шипун *Cygnus olor*, гуменника *Anser fabalis*, сухоноса *Cygnopsis cygnoides* [6]. Методом SEM выявлен идентичный перу гусеобразных орнамент кутикулярной поверхности: продольно вытянутые кутикулярные клетки с утолщенными краями, не сливающимися у соседних клеток; сглаженный рельеф поверхности клеток, образованный плотно прилегающими и переплетающимися волокнами. Кроме того, также как и у вышеперечисленных представителей гусеобразных, в структуре пуховых бородок II междуузлия плавно переходят в неширокие, плотно расположенные узлы с тремя игловидными шипами в апикальной части (см. рис. 3).

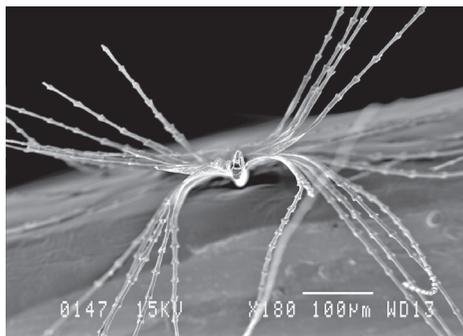


Рис. 1. Поперечный срез бородки первого порядка пуховой части опахала контурного пера, сохранившегося в составе ископаемых остатков птиц в шерсти мамонта из позднеледниковых отложений Северо-востока России
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 180

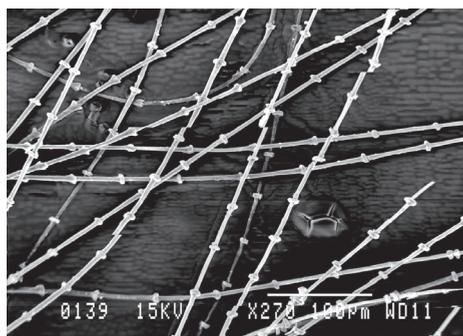


Рис. 2. Бородки второго порядка пуховой части опахала контурного пера, сохранившегося в составе ископаемых остатков птиц в шерсти мамонта из позднеледниковых отложений Северо-востока России
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 270

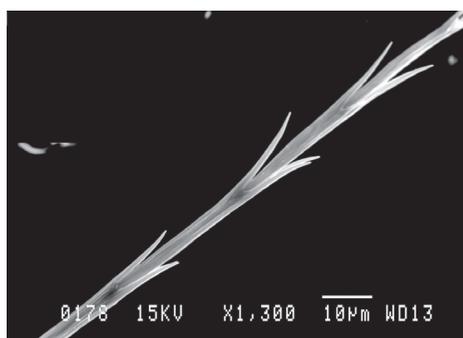


Рис. 3. Элементы тонкого строения пуховой части опахала контурного пера, сохранившегося в составе ископаемых остатков птиц в шерсти мамонта из позднеледниковых отложений Северо-востока России:
узлы с тремя игловидными шипами в апикальной части
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 1,300

Перо 8. Фрагмент контурной части опахала пера (0,4 см) белого цвета. Методом SEM выявлено: поперечный срез бородки I эллипсоидной формы с зауженной вентральной частью; сердцевина двурядная, представлена совокупностью полиморфных полостей с ровными краями и гладкими стенками. Проксимальные и дистальные бородки II, отходящие от бородки I, имеют расширенную базальную часть; перышко дистальных бородок снабжено волосовидными крючочками и ресничками. Точно идентифицировать перо не представляется возможным, так как выявленные компартменты тонкого строения данного фрагмента пера не являются уникальными и встречаются у многих исследованных нами ранее представителей других таксонов [6]. Тем не менее на основании отмеченного в световой микроскопии отсутствия пигментации крючочков и ресничек в составе перышка дистальных бородок II можно предположить о принадлежности пера представителю гусеобразных. В частности, непигментированные крючочки и реснички выявлены нами ранее у белолобого гуся *Anser albifrons*, гуменника *A. fabalis*, сухоноса *cygnopsis cygnoides*, лебедя-кликуну *C. cygnus*, малого лебедя *C. bewickii*, лебедя-шипуну *C. olor* [6].

Результаты сравнительного электронно-микроскопического анализа ископаемых остатков птиц, ассоциированных с копрофоссилиями мамонта, из позднеледниковых отложений Северо-востока России (Проба 3).

Перо 9. Относительно крупный фрагмент (3,5 см) контурного пера с сохранившимся жестким стержнем и плотной жесткой контурной частью асимметричного опахала (см. рис. 4). Методом SEM выявлено: поперечный срез бородки I сильно уплощенный ланцетовидный, вентральный гребень выше дорсального; сердцевинный тяж на продольном срезе бородки I представлен в основном трехрядной совокупностью уплощенных вертикально вытянутых полиморфных полостей с волнистыми краями и крупноскладчатыми стенками (см. рис. 5); каркас полостей из редких тонких нитей; орнамент кутикулы бородки I представлен продольно вытянутыми веретеновидными кутикулярными клетками со сглаженным рельефом поверхности, образованным вязью толстых волокон, ориентированных в основном вдоль длинной оси каждой клетки; границы между кутикулярными клетками отчетливые утолщенные, в виде жгутов (рис. 6). В результате сравнительного анализа с полученными нами ранее данными [6] это перо определено как перо гусеобразных прежде всего на основе характерного орнамента кутикулярной поверхности. Конфигурация поперечного среза (сильная уплощенность с боковых сторон) и структура сердцевинного тяжа (совокупность уплощенных вертикально вытянутых полиморфных полостей с волнистыми краями и крупноскладчатыми стенками) характерны для пера представителей рода *Branta*, в частности для американской или тихоокеанской черной казарки *Branta nigricans*.

Таким образом, проведенный нами сравнительно-микроскопический анализ субфоссилий, представленных фрагментами перьев птиц, ассоциированных с шерстью, а также с ископаемыми остатками жизнедеятельности мамонта,



Рис. 4. Фрагмент контурного пера, сохранившегося в составе ископаемых остатков птиц в копрофоссилиях мамонта из позднеледниковых отложений Северо-востока России

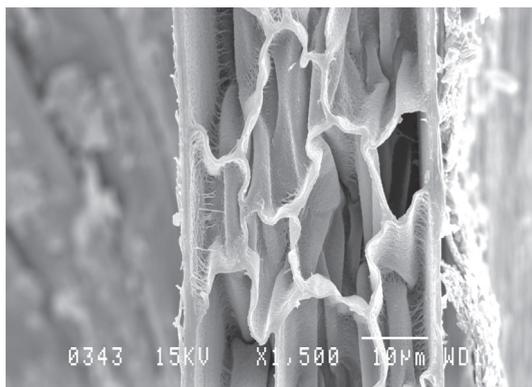


Рис. 5. Продольный срез бородки первого порядка контурного пера, сохранившегося в составе ископаемых остатков птиц в копрофоссилиях мамонта из позднеледниковых отложений Северо-востока России
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. $\times 1,500$

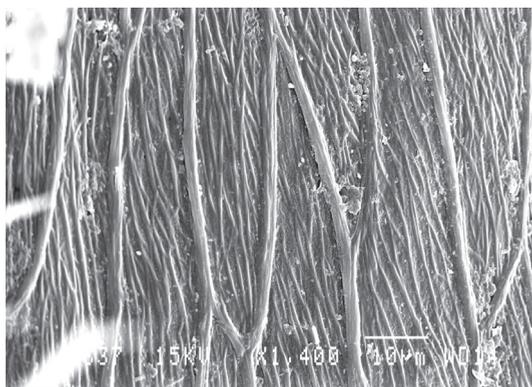


Рис. 6. Кутикулярная поверхность бородки первого порядка контурного пера, сохранившегося в составе ископаемых остатков птиц в копрофоссилиях мамонта из позднеледниковых отложений Северо-востока России
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. $\times 1,400$

собранными в позднечетвертичных аласовых отложениях Северо-востока России, позволил предположительно идентифицировать девять видов птиц плейстоценовой биоты, фрагменты перьев которых встречаются в исследуемых пробах: лебедь-кликун *Cygnus Cygnus*, малый лебедь *C. Bewickii*, американская или тихоокеанская черная казарка *Branta nigricans*, белолобый гусь *Anser albifrons*, гуменник *A. fabalis*, чирок-свистунок *Anas crecca*, шилохвость *A. acuta*, белая куропатка *Lagopus lagopus*, тундряная куропатка *L. mutus*.

Итак, результаты проведенного исследования наглядно демонстрируют диагностическую значимость компартментов микроструктуры контурного пера как основных маркеров таксономической идентификации ископаемых остатков птиц. Среди выявленных нами особенностей микроструктуры ископаемых фрагментов перьев ключевое диагностическое значение имеет следующий ряд компартментов: в строении бородки I — конфигурация поперечного среза, строение сердцевины на поперечном и продольном срезах, орнамент кутикулы: рельеф кутикулярной поверхности, форма и ориентация (относительно длинной оси бородки) кутикулярных клеток; в строении пуховых бородок II — форма узлов в проксимальном отделе: характер и степень расчлененности апикальной части сегментов, форма зубцов и степень отклонения их от основной оси пуховой бородки.

Результаты исследования вносят вклад в палеоэкологическое изучение таксономической структуры орнитокомплексов, характерных для плейстоценовой биоты и могут быть использованы при проведении палеоэкологических реконструкций природной среды обитания мамонтовой фауны позднеплейстоценовых-голоценовых экосистем Северо-востока России.

Литература

1. Кириллова И.В., Котов А.А., Трофимова С.С., Занина О.Г., Лаптева Е.Г., Зиновьев Е.В., Чернова О.Ф., Фадеева Е.О., Жаров А.А., Шидловский Ф.К. Ископаемая шерсть как новый источник данных о ледниковой биоте // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460. № 5. С. 613–616.
2. Фадеева Е.О. Адаптивные особенности микроструктуры контурного пера полярной совы (*Nyctea scandiaca*) // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2011. № 2.(8). С. 52–59.
3. Фадеева Е.О. Особенности тонкого строения первостепенных маховых перьев соколиных (*Falconidae*) // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2013. № 1 (11). С. 40–46.
4. Фадеева Е.О. Диагностическое значение микроструктуры пера некоторых охотничье-промысловых видов курообразных (*Galliformes*) // Сохранение разнообразия животных и охотничье хозяйство России. Материалы 5-й Междунар. научно-практ. конфер. М., 2013. С. 528–531.
5. Фадеева Е.О. Особенности микроструктуры контурного пера двух представителей рода *Buteo* (*Buteo lagopus*, *Buteo buteo*) // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2014. № 1 (13). С. 52–59.
6. Чернова О.Ф., Перфилова Т.В., Фадеева Е.О., Целикова Т.Н. Атлас микроструктуры перьев птиц (Библиотека судебного эксперта). М.: Наука, 2009. 173 с.

Literatura

1. Kirillova I.V., Kotov A.A., Trofimova S.S., Zanina O.G., Lapteva E.G., Zinov'ev E.V., Chernova O.F., Fadeeva E.O., Zharov A.A., Shidlovskij F.K. Iskopaemaya sherst' kak novy'j istochnik danny'x o lednikovoj biote // Doklady Akademii nauk. 2015. T. 460. № 5. S. 613–616.
2. Fadeeva E.O. Adaptivny'e osobennosti mikrostruktury' konturnogo pera polyarnoj sovy' (*Nyctea scandiaca*) // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2011. № 2 (8). S. 52–59.
3. Fadeeva E.O. Osobennosti tonkogo stroeniya pervostepenny'x maxovy'x per'ev sokoliny'x (*Falconidae*) // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2013. № 1 (11). S. 40–46.
4. Fadeeva E.O. Diagnosticheskoe znachenie mikrostruktury' pera nekotory'x ohotnich'e-promy'slovy'x vidov kuroobrazny'x (*Galliformes*) // Soxranenie raznoobraziya zivotny'x i oxotnich'e xozyajstvo Rossii: mat-ly' 5-j Mezhdunar. nauchno-prakt. konfer. M., 2013. S. 528–531.
5. Fadeeva E.O. Osobennosti mikrostruktury' konturnogo pera dvux predstavitelej roda *Buteo* (*Buteo lagopus*, *Buteo buteo*) // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2014. № 1 (13). S. 52–59.
6. Chernova O.F., Perfilova N.V., Fadeeva E.O., Czelikova T.N. Atlas mikrostruktury' per'ev pticz (Biblioteka sudebnogo e'ksperta). M.: Nauka, 2009. 173 s.

*E.O. Fadeeva***Diagnostic Possibilities of the Birds Contour Feather
on the Basis of its Microstructure**

In the material the author presents results of the taxonomic identification of fossils based on comparative electronic and microscopic analysis of the microstructure of fragments of contour feathers of birds preserved in the mammoth's hair and koprofofossilia of Late Glacial deposits of North-East of Russia. The diagnostic importance of compartments of contour feathers fine morphology as the main markers of species identification of fossils of birds in study of the taxonomic structure of ornithocomplexes typical of the Pleistocene biota.

Keywords: fossils; electronic microscopic investigation; contour feather; feather microstructure.

Е.О. Фадеева

Видоспецифические особенности тонкого строения дефинитивного контурного пера обыкновенной сипухи (*Tyto alba Scopoli*, 1769)

В статье представлены оригинальные результаты сравнительного электронно-микроскопического исследования тонкого строения первостепенного махового пера обыкновенной сипухи (*Tyto alba Scopoli*, 1769) с использованием сканирующего электронного микроскопа. На основании проведенного исследования установлено, что у обыкновенной сипухи наряду с характерными для совообразных компартментами тонкого строения контурного пера имеется ряд видоспецифических паттернов, важных с точки зрения таксономической диагностики.

Ключевые слова: обыкновенная сипуха; электронно-микроскопическое исследование; дефинитивное первостепенное маховое перо; микроструктура пера.

Обыкновенная сипуха (*Tyto alba Scopoli*, 1769) — уникальный представитель древнего семейства Сипуховых (*Tytonidae*) отряда Совообразных (*Strigiformes*). Обитает обыкновенная сипуха в Европе, Африке, на Ближнем Востоке, в тропической Азии, Австралии, на островах Индийского океана (Мадагаскар и другие). В России гнездится только в Калининградской области.

От других представителей совообразных — настоящих сов — обыкновенная сипуха отличается прежде всего более стройным телом, длинными ногами, наличием зазубрин по внутреннему краю когтя среднего пальца, а также хорошо развитым лицевым диском, резко суживающимся книзу и имеющим сердцевидную форму (рис. 1).

В настоящее время в современных работах, приводящих подробные описания отличительных морфологических признаков в строении тела и оперения обыкновенной сипухи, абсолютно отсутствуют сведения об особенностях строения микроструктуры перьевого покрова, что объясняется практически полной неизученностью данного вопроса.

С целью выявления основных видоспецифических характеристик архитектоники пера обыкновенной сипухи нами впервые с применением сканирующего электронного микроскопа (SEM) подробно исследованы особенности микроструктуры дефинитивного контурного пера данного представителя совообразных.

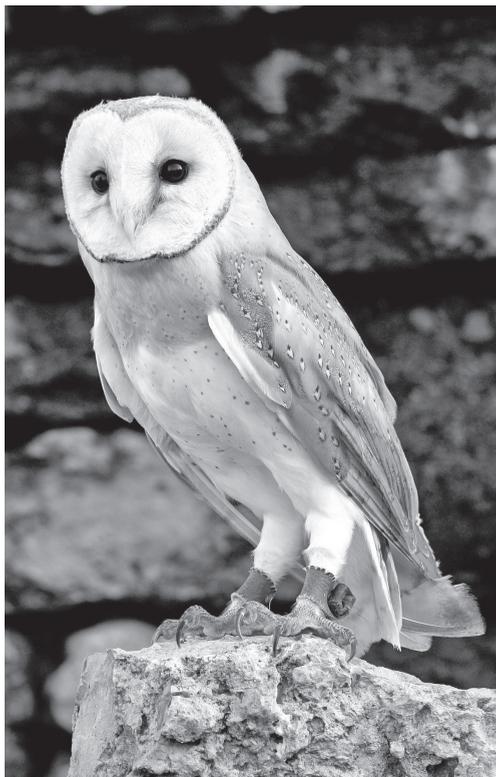


Рис. 1. Обыкновенная сипуха *Tyto alba* (Tytonidae, Strigiformes)

Фото В.Г. Бабенко

Материалом для исследования послужили первостепенные маховые перья обыкновенной сипухи, содержащейся в питомнике хищных птиц государственного природного заповедника Галичья Гора (Липецкая область). Данный материал любезно предоставлен научным сотрудником заповедника, заведующим питомником П.И. Дудиным.

Исследование микроструктуры контурного пера обыкновенной сипухи проводилось на основе неоднократно апробированного нами метода качественного сравнительного электронно-микроскопического анализа наиболее информативных элементов в строении бородок первого порядка (далее бородки I) и бородок второго порядка (далее бородки II) контурной (внутреннее опахало) и пуховой частей опахала первостепенного махового пера [1–4]. Подготовка препаратов для исследования в сканирующем электронном микроскопе состояла из следующих этапов. Бородки тщательно промывали в дистиллированной воде, затем проводили по восходящему ряду спиртов до ацетона, высушивали на воздухе и размещали на плате, в основании бинокулярного стереоскопического микроскопа МС-2 ZOOM, предназначенного для тонких препаравальных работ. Отпрепарированные бородки, в том числе поперечные и продольные срезы, переносили на предметные алюминиевые

столики и фиксировали электропроводящим клеем. Подготовленные препараты напыляли золотом толщиной 100–200 ангстрем методом ионного напыления в условиях вакуума на установке Edwards S-150A (Великобритания), просматривали и фотографировали с применением сканирующего электронного микроскопа JEOL-840A (Япония), при ускоряющем напряжении 15 кВ.

В целом изготовлено 60 препаратов бородок контурной и пуховой частей опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи, на основании которых сделано и проанализировано 162 электронных микрофотографии (электросканограммы).

Анализ полученных электросканограмм позволил подробно исследовать особенности микроструктуры контурного пера обыкновенной сипухи и сравнить полученные данные с особенностями тонкого строения контурных перьев изученных нами ранее других представителей совообразных [2; 4].

Так, у обыкновенной сипухи конфигурация поперечного среза бородки I сходна с таковой у большинства других исследованных нами представителей отряда. В базальной части бородки поперечный срез имеет узкую удлинненную форму за счет сильного уплощения бородки с боковых сторон; вентральный гребень хорошо развит и отличается слегка изогнутой «серповидной» формой (рис. 2). Конфигурация поперечного среза вышележащих участков бородки (медialная и дистальная части) претерпевает значительные изменения: длина уменьшается, увеличивается ширина, за счет чего бородка в дистальной части на поперечном срезе приобретает более округлую ланцетовидную форму (рис. 3).

Структура сердцевинного тяжа бородки I у обыкновенной сипухи заметно отличается от сердцевины у других исследованных нами видов совообразных особенно на продольном срезе бородки I, где сердцевина на всем протяжении бородки, представлена совокупностью продольно удлинненных крупно складчатых полиморфных сердцевинных полостей (рис. 4).

Орнамент рельефа кутикулярной поверхности бородки I у обыкновенной сипухи, как и у всех исследованных нами других видов совообразных, претерпевает заметные изменения по направлению от основания бородки к ее вершине. Кроме того, отмечены различия в конфигурации кутикулярных клеток каждой боковой поверхности вентрального гребня (дистальной и проксимальной). Вследствие вышеизложенного для сравнительного анализа нами был выбран конкретный участок кутикулярной поверхности — дистальная сторона базальной части бородки I. Клетки кутикулы у обыкновенной сипухи имеют характерную для совообразных удлинненную форму и сглаженный волокнистый рельеф поверхности; перинуклеарные области на кутикулярной поверхности слабо заметны; границы между клетками, как и у большинства исследуемых нами представителей отряда, слабо различимы. Отличительной чертой в рельефе кутикулярной поверхности бородки I у обыкновенной сипухи являются выявленные нами отчетливо выраженные сплетения отдельных крупных волокон на фоне плотной волокнистой кутикулярной поверхности.

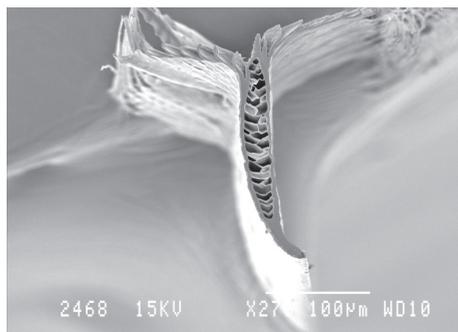


Рис. 2. Электросканограмма поперечного среза базального участка бородки первого порядка контурной части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи *Tyto alba* (Tytonidae, Strigiformes)
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 270

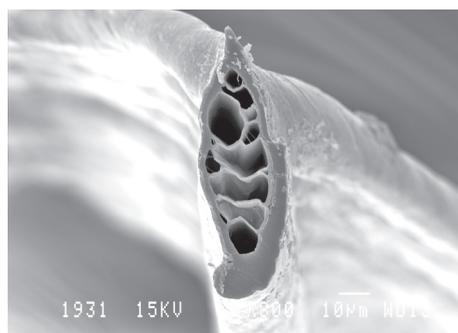


Рис. 3. Электросканограмма поперечного среза медиального участка бородки первого порядка контурной части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи *Tyto alba* (Tytonidae, Strigiformes)
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 800

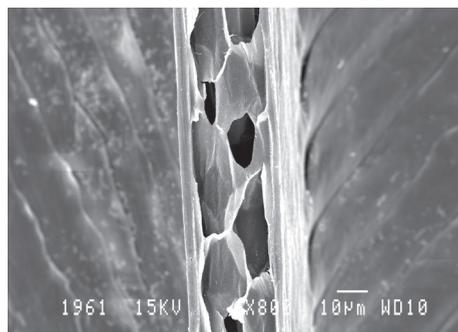


Рис. 4. Электросканограмма сердцевины на продольном срезе базальной части бородки первого порядка контурной части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи *Tyto alba* (Tytonidae, Strigiformes)
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 800

Результаты, полученные нами в ходе исследования микроструктуры опахальца бородки I контурной части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи, полностью согласуются с результатами исследований, проведенных нами ранее [2; 4].

Во-первых, специфической чертой строения микроструктуры опахальца бородки I контурной части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи, как и других представителей совообразных, является структура бородок II дистальной части опахальца: сильно удлиненное перышко с расположенными на нем многочисленными хорошо развитыми ресничками (рис. 5), что в целом обуславливает ворсистую поверхность опахала всего пера.

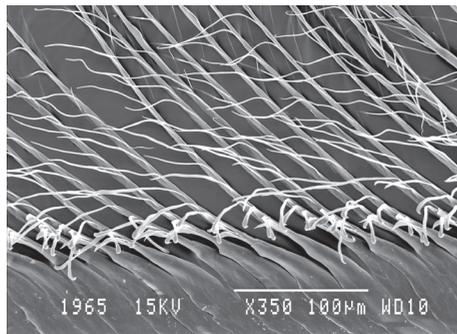


Рис. 5. Электросканограмма тонкого строения контурной части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи *Tyto alba* (Tytonidae, Strigiformes): дистальные бородки второго порядка с расположенными на них многочисленными ресничками, образующие в целом ворсистую поверхность опахала всего пера
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 350

Во-вторых, у обыкновенной сипухи *наличие* бородок II сохраняется по всей длине бородки I, включая верхний дистальный участок, что впервые было отмечено нами у других видов совообразных. Данный факт вносит существенные коррективы в широко распространенное суждение об отсутствии бородок II в структуре опахальца на дистальном участке бородки I контурной части опахала первостепенного махового пера совообразных.

В-третьих, у обыкновенной сипухи, как и у других исследованных нами ранее представителей отряда, выявлено, что рассученный край опахала, характерный для совообразных, образован не за счет отсутствия бородок II на дистальном участке бородки I, как было принято считать, а рядом своеобразных «косиц», сформированных за счет прилегания или даже плотного смыкания сильно удлиненных бородок II между собой и апикальным участком бородки I. При этом у обыкновенной сипухи степень «ассученности» края опахала достаточно хорошо выражена, что также согласуется с результатами исследований, проведенных нами ранее [2; 4].

В пуховой части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи пуховые бородки, отходящие по обе стороны от бородки I, наряду с микроструктурными особенностями, типичными для других, изученных нами представителей совообразных (например, расширенная веретеновидная базальная часть, удлиненный сегментированный отдел, т. е. перышко, сформированный чередующимися узлами и междуузлиями), имеют ряд следующих специфических характеристик: апикальная часть сегмента слабо расширена, и междуузлие плавно переходит в узел; узлы в проксимальной части пуховых бородок имеют три игловидных зубца, незначительно отклоняющихся в стороны от продольной оси бородки (рис. 6).

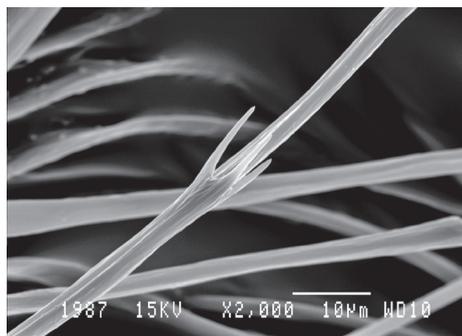


Рис. 6. Электросканограмма тонкого строения пуховой части опахала первостепенного махового пера обыкновенной сипухи *Tyto alba* (Tytonidae, Strigiformes): конфигурация апикального края сегмента в проксимальном отделе пуховых бородок — узлы имеют три игловидных зубца
Сканирующий электронный микроскоп (JEOL-840A), ув. × 2000

Таким образом, в результате проведенного нами исследования микроструктуры контурного пера обыкновенной сипухи впервые выявлены качественные паттерны, в комплексе своем достаточно информативные с точки зрения таксономической диагностики. Установлено, что наряду с характерными для совообразных элементами архитектоники пера имеется ряд видоспецифических компартиментов, возможно, отражающих комплекс эколого-морфологических адаптаций и расширяющих представление о сложной радиации морфологических и адаптационных изменений микроструктуры пера в филогенезе птиц.

Литература

1. *Фадеева Е.О.* Адаптивные особенности микроструктуры контурного пера черного стрижа (*Apus apus*) // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2009. № 2 (4). С. 48–55.
2. *Фадеева Е.О.* Адаптивные особенности микроструктуры контурного пера полярной совы (*Nyctea scandiaca*) // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2011. № 2 (8). С. 52–59.
3. *Фадеева Е.О.* Особенности тонкого строения первостепенных маховых перьев соколиных (*Falconidae*) // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2013.

№ 1 (11). С. 40–46.

4. *Фадеева Е.О.* Особенности тонкого строения маховых перьев совообразных (*Strigiformes*), обусловленные спецификой полета // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2014. № 4 (16). С. 32–38.

Literatura

1. *Fadeeva E.O.* Adaptivny'e osobennosti mikrostruktury' konturnogo pera chernogo strizha (*Apus apus*) // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2009. № 2 (4). S. 48–55.

2. *Fadeeva E.O.* Adaptivny'e osobennosti mikrostruktury' konturnogo pera polyarnoj sovy' (*Nyctea scandiaca*) // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2011. № 2 (8). S. 52–59.

3. *Fadeeva E.O.* Osobennosti tonkogo stroeniya pervostepenny'x maxovy'x per'ev sokoliny'x (*Falconidae*) // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2013. № 1 (11). S. 40–46.

4. *Fadeeva E.O.* Osobennosti tonkogo stroeniya maxovy'x per'ev sovoobrazny'x (*Strigiformes*), obuslovlenny'e specifikoj poleta // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2014. № 4 (16). S. 32–38.

E.O. Fadeeva

Species-specific Peculiarities of Fine Structure of the Definitive Contour Feather of the Common Barn Owl (*Tyto alba Scopoli, 1769*)

In the article the author represents original results on the comparative electron microscopic study of fine structure of primary remex of the common barn owl (*Tyto alba Scopoli, 1769*) with the use of a scanning electron microscope. Based on carried out research it was found that the common barn owl besides typical for strigiformes compartments of fine structure of contour feather has several species-specific patterns important from the point of view of taxonomic diagnostics.

Keywords: common barn owl; electron microscopic study; definitive primary remex; microstructure of feather.

А.Д. Кручинина

Активность пептидил-дипептидазы А в отделах мозга крыс при однократном введении флуоксетина

В статье рассмотрена проблема депрессий, ставшая актуальной в связи с высокой распространенностью психических расстройств. Депрессию связывают со снижением уровня моноаминов, активацией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, повышением содержания цитокинов и изменением уровня регуляторных пептидов в мозге. Выявлено, что основным фактором, приводящим к развитию заболевания, является стресс. Для его лечения в настоящее время широко применяется селективный ингибитор обратного захвата серотонина — флуоксетин. Поскольку депрессия и сердечно-сосудистые патологии тесно связаны между собой, предполагается реализовать вовлеченность пептидил-дипептидазы А в патогенез данных заболеваний. Таким образом, антидепрессантный эффект препаратов может быть обусловлен изменением активности фермента. Данная работа направлена на изучение активности пептидил-дипептидазы А в отделах мозга крыс через 12 часов, 24 часа и 72 часа после однократного введения флуоксетина.

Ключевые слова: пептидил-дипептидаза А; серотонин; флуоксетин; регуляторные пептиды; депрессия.

В настоящее время отмечено ежегодное увеличение количества пациентов с психическими расстройствами. Самым распространенным из них является депрессия, приводящая к утрате трудоспособности взрослого населения [1]. В связи с этим, проблема депрессий становится одной из центральных в психиатрической и общемедицинской практике.

Рост заболеваемости связывают с повышением уровня стрессовых нагрузок на организм человека. Так, хронический стресс вызывают дезадаптивные изменения в цепи нейротрансмиттеров, ответственных за клиническое проявление патологии [7]. Данные о снижении уровня серотонина, норадреналина и дофамина и их метаболитов в цереброспинальной жидкости пациентов послужили толчком к развитию моноаминовой гипотезы депрессии [10]. И именно повышение концентрации моноаминов в синаптической щели лежит в основе антидепрессантного действия применяемых в терапии заболевания селективных ингибиторов обратного нейронального захвата [11]. Однако существующие способы лечения не всегда оказываются эффективными, что, по-видимому, свидетельствует о вовлеченности других систем организма в патогенез депрессии.

Так, с возникновением симптомов заболевания связаны нарушения глутаматергической, ГАМКергической нейротрансмиссии [3]. Главным эндокринным нарушением является активация гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси [3], сопровождающаяся повышением уровня кортикотропин-рилизинг фактора, АКТГ и кортизола в период депрессивного эпизода, который нормализуется после клинической ремиссии. Причем, степень нарушения коррелирует с тяжестью заболевания и с числом предшествующих депрессивных эпизодов. Гиперсекреция цитокинов может вносить вклад в развитие депрессивных расстройств посредством стимуляции нейронов паравентрикулярного ядра гипоталамуса, содержащих кортикотропин-рилизинг фактор [15]. Также, провоспалительные цитокины обладают свойством понижать внеклеточную концентрацию моноаминов, что может приводить к возникновению симптомов заболевания [15].

В настоящее время для лечения депрессии широко применяются препараты из группы селективных ингибиторов обратного захвата серотонина, наиболее известным из которых является флуоксетин [11]. Помимо повышения концентрации серотонина в синаптической щели при длительном приеме препарата обнаружено его влияние на гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую ось [18] и обмен цитокинов [17].

Поскольку регуляция работы нервной, эндокринной и иммунной систем осуществляется посредством биологически активных пептидов, актуальным является изучение роли компонентов пептидергической системы в патогенезе депрессии и терапии антидепрессантами. Так, установлены изменения содержания регуляторных пептидов в мозге и крови пациентов с симптомами заболевания [12], при этом их уровень напрямую зависит от активности ферментов процессинга пептидов.

Пептидил-дипептидаза *A* играет важную роль в развитии депрессии и сердечно-сосудистых заболеваний [16]. Данный фермент, катализирующий реакцию образования ангиотензина II из ангиотензина I путем отщепления C-концевого дипептида, также регулирует обмен брадикинина, вещества *P*, холецистокинина, окситоцина, вазопрессина и т.д. [6]. Выявлено, что полиморфизм гена пептидил-дипептидазы *A rs4291* приводит к развитию депрессии, при этом выраженность симптомов коррелирует с уровнем ангиотензина II в плазме крови [5]. Увеличение содержания ангиотензина II и активация АТ1-рецепторов вызывают запуск механизмов воспаления, приводящих к повышению уровня цитокинов, активных форм кислорода, простагландинов и *NO* [9].

Таким образом, целью данной работы явилось изучение активности фермента обмена регуляторных пептидов пептидил-дипептидазы *A* в отделах мозга крыс через 12 часов, 24 часа и 72 часа после однократного введения флуоксетина.

Исследование было проведено на 42 самцах белых беспородных крыс массой 200–250 г. Флуоксетин вводили внутривентрикулярно в дозе 10 мг/кг.

Контрольным животным вводили равный объем 0,9 % $NaCl$. Через 12 часов, 24 часа и 72 часа после инъекции проводили декапитацию животных под хлороформным наркозом. Отделы мозга гомогенизировали в натрий-ацетатном буфере ($pH = 5,6$) при температуре 4 °С, и в полученном гомогенате определяли удельную активность пептидил-дипептидазы A .

Содержание $Gly-Arg$ определяли нингидриновым методом, при этом пробы колориметрировали на КФК-3 на длине волны 590 нм в кювете с длиной оптического пути 1 см. Активность исследуемого фермента определяли по разности оптической плотности проб, не содержащих и содержащих каптоприл, и выражали в нмоль продукта, образовавшегося за 1 минуту инкубации на 1 мг белка [4]. Количество белка определяли по *Lowry* [13].

Статистическую обработку полученных данных проводили с привлечением t -критерия Стьюдента. Достоверными считали результаты при $p < 0,05$ [2].

Результаты исследования активности пептидил-дипептидазы A в отделах мозга крыс при введении флуоксетина представлены на рисунке 1.

В гипофизе активность фермента через 12 часов после инъекции снижалась на 26 %, через 24 часа и 72 часа увеличивалась в три раза и на 26 % соответственно по сравнению с контролем. В четверохолмии через 12 часов после введения активность исследуемого фермента не изменялась, а через 24 часа, 72 часа возрастала в 2,5 и 5,5 раз. В продолговатом мозге активность пептидил-дипептидазы A через 12 часов не изменялась, через 24 часа и 72 часа снижалась на 54 % и 31 % относительно контроля. В гипоталамусе активность фермента увеличивалась в 2 раза, 3,8 раза, 2,5 раза через 12 часов, 24 часа, 72 часа соответственно. В гиппокампе увеличение активности наблюдалось к 24 часам и 72 часам после инъекции на 34 % и в 2,4 раза соответственно. В амигдале активность пептидил-дипептидазы A снижалась на 45 %, 40 %, 66 % через 12 часов, 24 часа, 72 часа относительно контроля. В стриатуме повышение активности отмечено в 2 раза и в 2,4 раза через 12 часов и 24 часа по сравнению с контролем.

По-видимому, в ответ на стрессовое воздействие, которым является внутрибрюшинное введение препарата, происходит активация стресс-протекторных систем организма животного. При этом пептидергическая система принимает непосредственное участие в данных процессах. Вероятно, развитие адаптивных изменений в организме тесно связано с изменением уровня ряда регуляторных пептидов, который напрямую зависит от активности ферментов их обмена.

В результате исследования выявлено, что однократное внутрибрюшинное введение флуоксетина оказывает влияние на активность пептидил-дипептидазы A в исследуемых структурах мозга крыс. Повышение активности исследуемого фермента может приводить к увеличению уровня ангиотензина II, который, в свою очередь, стимулирует секрецию аргинин-вазопрессина и окситоцина гипоталамусом, что вызывает активацию гипоталамо-гипофизарно-

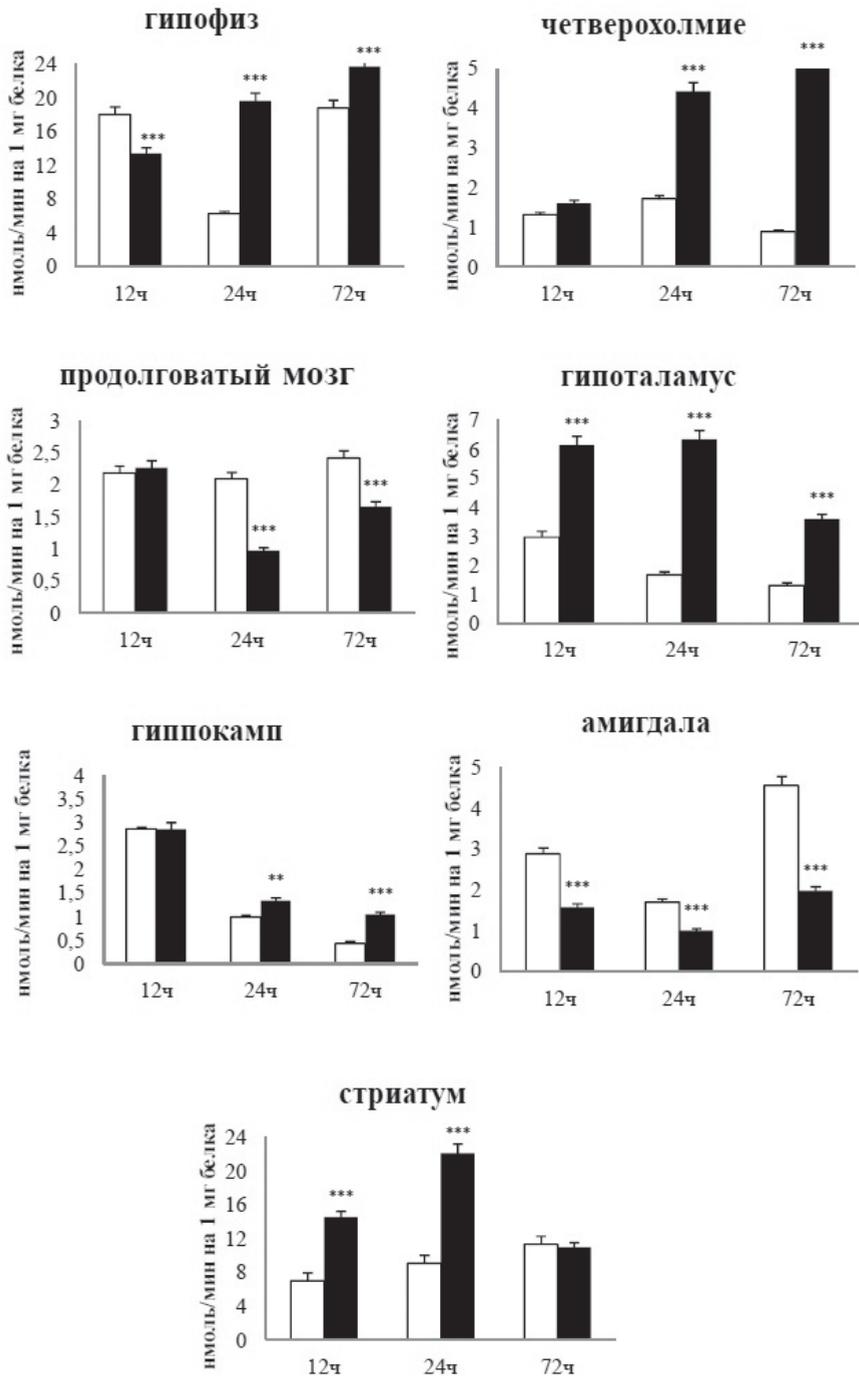


Рис. 1. Активность пептидил-дипептидазы *A* при однократном введении флуоксетина в отделах мозга крыс (нмоль продукта, образовавшегося за 1 минуту инкубации на 1 мг белка, $M \pm m$, $n = 4 - 6$):

□ — контроль, ■ — флуоксетин 10 мг/кг,
 ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$ относительно контроля

надпочечниковой оси [14]. Этим может быть объяснен анксиогенный эффект флуоксетина, возникающий при кратковременном приеме препарата [8].

По-видимому, эффект препаратов, применяемых для лечения депрессии, может быть обусловлен изменением активности ферментов обмена регуляторных пептидов и, как следствие, изменением уровня биологически активных пептидов, вовлеченных в развитие заболевания. Таким образом, компоненты пептидергической системы можно рассматривать в качестве терапевтических мишеней для коррекции патологического состояния.

Литература

1. *Елисеев Ю.Ю.* Психосоматические заболевания. Полный справочник. М.: Эксмо, 2003. 608 с.
2. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: учебное пособие для биол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
3. *Мосолов С.Н.* Современные биологические гипотезы рекуррентной депрессии (обзор) // Журнал неврологии и психиатрии. 2012. Т. 11. № 2. С. 29–40.
4. *Соловьев В.Б., Генгин М.Т.* Активность пептидилдипептидазы А и карбокси-пептидазы N в сыворотке крови пациентов с болезнью Альцгеймера // Укр. біохімі. журн. 2007. Т. 79. № 6. С. 106–108.
5. *Baghai T.C., Binder E.B., Schule C., Salyakina D., Eser D., Lucae S., Zwanzger P., Habberger C., Zill P., Ising M., Deiml T., Uhr M., Illig T., Wichmann H.E., Modell S., Nothdurfter C., Holsboer F., Müller-Myhsok B., Möller H.J., Rupprecht R., Bondy B.* Polymorphisms in the angiotensin-converting enzyme gene are associated with unipolar depression, ACE activity and hypercortisolism // Mol Psychiatry. 2006. V. 11. № 11. P. 1003–1015.
6. *Baudin B.* New aspects on angiotensin-converting enzyme: from gene to disease // Clin Chem Lab Med. 2002. V. 40. № 3. P. 256–265.
7. *Castren E.* Is mood chemistry? // Nat Rev Neurosci. 2005. V. 6. № 3. P. 241–246.
8. *Gomez F., Venero C., Viveros M.P., García-García L.* Short-term fluoxetine treatment induces neuroendocrine and behavioral anxiogenic-like responses in adolescent male rats // Exp Brain Res. 2015. V. 233. № 3. P. 983–995.
9. *Guo F., Chen X.L., Wang F., Liang X., Sun Y.X., Wang Y.J.* Role of angiotensin II type 1 receptor in angiotensin II-induced cytokine production in macrophages // Interferon Cytokine Res. 2011. V. 31. № 4. P. 351–361.
10. *Hirschfeld R.M.* History and evolution of the monoamine hypothesis of depression // J Clin Psychiatry. 2000. V. 61. № 6. P. 4–6.
11. *Humble M.* Noradrenaline and serotonin reuptake inhibition as clinical principles: a review of antidepressant efficacy // Acta Psychiatr Scand Suppl. 2000. V. 402. P. 28–36.
12. *Kormos V., Gaszner B.* Role of neuropeptides in anxiety, stress, and depression: from animals to humans // Neuropeptides. 2013. V. 47. № 6. P. 401–419.
13. *Lowry O.H., Rosebrought N.J., Farr A.G., Randall R.J.* Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. 1951. Vol. 193. № 1. P. 265–275.
14. *Reis W.L., Giusti-Paiva A., Ventura R.R., Margatho L.O., Gomes D.A., Elias L.L., Antunes-Rodrigues J.* Central nitric oxide blocks vasopressin, oxytocin and atrial natriuretic peptide release and antidiuretic and natriuretic responses induced by central angiotensin II in conscious rats // Exp Physiol. 2007. V. 92. № 5. P. 903–911.

15. *Schiepers O.J., Wichers M.C., Maes M.* Cytokines and major depression // *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2005. V. 29. № 2. P. 201–217.
16. *Taylor W.D., Aizenstein H.J., Alexopoulos G.S.* The Vascular Depression Hypothesis: Mechanisms Linking Vascular Disease with Depression // *Mol Psychiatry*. 2013. V. 18. № 9. P. 963–974.
17. *Valera E., Ubhi K., Mante M., Rockenstein E., Masliah E.* Antidepressants reduce neuroinflammatory responses and astroglial alpha-synuclein accumulation in a transgenic mouse model of multiple system atrophy // *Glia*. 2014. V. 62. № 2. P. 317–337.
18. *Ventura-Junca R., Symon A., Lopez P., Fiedler J.L., Rojas G., Heskia C., Lara P., Marín F., Guajardo V., Araya A.V., Sasso J., Herrera L.* Relationship of cortisol levels and genetic polymorphisms to antidepressant response to placebo and fluoxetine in patients with major depressive disorder: a prospective study // *BMC Psychiatry*. 2014. V. 14. P. 220.

Literatura

1. *Eliseev U.U.* Psixosomaticheskie zabolevaniya. Polnij spravochnik. M.: E'xmo, 2003. 608 s.
2. *Lakin G.F.* Biometriya. M.: Vischaya shkola, 1990. 352 s.
3. *Mosolov S.N.* Sovremennye biologicheskie gipotezi rekkurentnoj depressii (obzor) // *Zhurnal nevrologii i psixiatrii*. 2012. T. 11. № 2. S. 29–40.
4. *Solov'ew V.B., Gengin M.T.* Aktivnost' peptidildipeptidazy' A i carboksipeptidazy' N v sy'vorotke krovei pacientov s boleznyu Al'czgejmerna // *Ukr. bioxim. zhurn*. 2007. T. 79. № 6. C. 106–108.
5. *Baghai T.C., Binder E.B., Schule C., Salyakina D., Eser D., Lucae S., Zwanzger P., Habberger C., Zill P., Ising M., Deiml T., Uhr M., Illig T., Wichmann H.E., Modell S., Nothdurfter C., Holsboer F., Müller-Myhsok B., Möller H.J., Rupprecht R., Bondy B.* Polymorphisms in the angiotensin-converting enzyme gene are associated with unipolar depression, ACE activity and hypercortisolism // *Mol Psychiatry*. 2006. V. 11. № 11. P. 1003–1015.
6. *Baudin B.* New aspects on angiotensin-converting enzyme: from gene to disease // *Clin Chem Lab Med*. 2002. V. 40. № 3. P. 256–265.
7. *Castren E.* Is mood chemistry? // *Nat Rev Neurosci*. 2005. V. 6. № 3. P. 241–246.
8. *Gomez F., Venero C., Viveros M.P., García-García L.* Short-term fluoxetine treatment induces neuroendocrine and behavioral anxiogenic-like responses in adolescent male rats // *Exp Brain Res*. 2015. V. 233. № 3. P. 983–995.
9. *Guo F., Chen X.L., Wang F., Liang X., Sun Y.X., Wang Y.J.* Role of angiotensin II type 1 receptor in angiotensin II-induced cytokine production in macrophages // *Interferon Cytokine Res*. 2011. V. 31. № 4. P. 351–361.
10. *Hirschfeld R.M.* History and evolution of the monoamine hypothesis of depression // *J Clin Psychiatry*. 2000. V. 61. № 6. P. 4–6.
11. *Humble M.* Noradrenaline and serotonin reuptake inhibition as clinical principles: a review of antidepressant efficacy // *Acta Psychiatr Scand Suppl*. 2000. V. 402. P. 28–36.
12. *Kormos V., Gaszner B.* Role of neuropeptides in anxiety, stress, and depression: from animals to humans // *Neuropeptides*. 2013. V. 47. № 6. P. 401–419.
13. *Lowry O.H., Rosebrought N.J., Farr A.G., Randall R.J.* Protein measurement with the Folin phenol reagent // *J. Biol. Chem*. 1951. Vol. 193. № 1. P. 265–275.
14. *Reis W.L., Giusti-Paiva A., Ventura R.R., Margatho L.O., Gomes D.A., Elias L.L., Antunes-Rodrigues J.* Central nitric oxide blocks vasopressin, oxytocin and atrial natriure-

tic peptide release and antidiuretic and natriuretic responses induced by central angiotensin II in conscious rats // *Exp Physiol*. 2007. V. 92. № 5. P. 903–911.

15. *Schiepers O.J., Wichers M.C., Maes M.* Cytokines and major depression // *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2005. V. 29. № 2. P. 201–217.

16. *Taylor W.D, Aizenstein H.J., Alexopoulos G.S.* The Vascular Depression Hypothesis: Mechanisms Linking Vascular Disease with Depression // *Mol Psychiatry*. 2013. V. 18. № 9. P. 963–974.

17. *Valera E., Ubhi K., Mante M., Rockenstein E., Masliah E.* Antidepressants reduce neuroinflammatory responses and astroglial alpha-synuclein accumulation in a transgenic mouse model of multiple system atrophy // *Glia*. 2014. V. 62. № 2. P. 317–337.

18. *Ventura-Junca R., Symon A., Lopez P., Fiedler J.L., Rojas G., Heskia C., Lara P., Marín F., Guajardo V., Araya A.V., Sasso J., Herrera L.* Relationship of cortisol levels and genetic polymorphisms to antidepressant response to placebo and fluoxetine in patients with major depressive disorder: a prospective study // *BMC Psychiatry*. 2014. V. 14. P. 220.

A.D. Kruchinina

Activity of Peptidyl-dipeptidase A in the Brain Regions of Rats after a Single Administration of Fluoxetine

The article considers the problem of depression, which became topical in the connection with a high prevalence of mental disorders. Depression is associated with decreased levels of monoamines, activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis, increased levels of cytokines and changes in the level of regulatory peptides in the brain. It was revealed that stress is a major factor leading to the development of disease. Selective serotonin reuptake inhibitor — fluoxetine is widely used nowadays for the treatment of the disease. Since depression and cardiovascular pathologies are closely linked, it is suggested to realize the involvement of peptidyl-dipeptidase A in the pathogenesis of these diseases. Thus, antidepressant effect of drugs can be conditioned with changes of enzyme activity. This work is directed at study of activity of peptidyl-dipeptidase A in brain regions of rats after 12 h, 24 h, 72 h after a single administration of fluoxetine.

Keywords: peptidyl-dipeptidase A; serotonin; fluoxetine; regulatory peptides; depression.

О.В. Соловьёва

Митилидный биофильтр крупного гидротехнического сооружения в акватории севастопольской бухты (Чёрное море)

В статье представлены результаты исследования поселения моллюсков *Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel. на подводной части набережной Севастопольской бухты, проведенные зимой 2015 года. В ходе осуществленного сравнения с аналогичным исследованием 2006 года выявлена перестройка структуры поселений, которая привела к двукратному росту мощности биофильтра, формируемого моллюсками на поверхности гидротехнического сооружения. Мощность митилидного биофильтра на подводной части набережной зимой 2015 г. составила $5\,876 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1} \cdot \text{м}^2$.

Ключевые слова: мидии; митилястеры; численность; биомасса; размерный состав; Севастопольская бухта; бетонная набережная.

Митилидное обрастание (*Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel.) гидротехнических сооружений в портовых акваториях является важным компонентом экосистемы. Формируя мощные биофильтры, оно оказывает положительное влияние на экологическое состояние побережья. Ранее делались оценки мощности таких биофильтров для различных акваторий [1; 6], в частности, для Севастопольской бухты. Было установлено, что наиболее мощный биофильтр (порядка $130 \text{ тыс. м}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$) образуется мидиями и митилястерами, обитающими на поверхности бетонной набережной бухты на участке между мысами Николаевским и Хрустальным [6] (рис. 1).

Численность данных моллюсков на указанном сооружении в период с 2004 по 2006 гг. составляла $2\,027 \pm 309$ и $6\,459 \pm 657$ экз. $\cdot \text{м}^2$ соответственно. В дальнейшем, в результате шторма в ноябре 2007 г., обрастание на набережной было практически полностью уничтожено, но к сентябрю 2009 г. восстановилось. Средние показатели численности мидий и митилястеров весной 2009 г. примерно соответствовали показателям предыдущей съёмки, а в сентябре 2009 г. после прошедшего массового оседания моллюсков составили: для мидий — $6\,830 \text{ экз.} \cdot \text{м}^2$, а для митилястеров — $7\,324 \text{ экз.} \cdot \text{м}^2$.

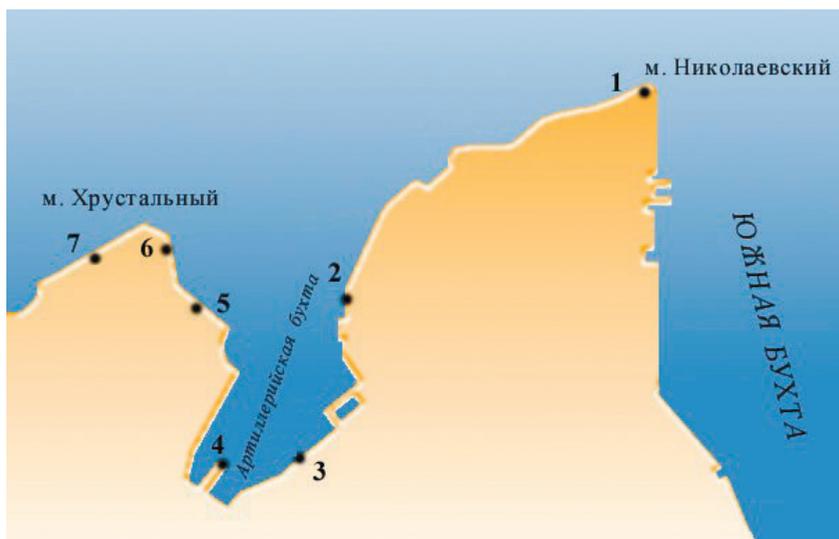


Рис. 1. Схема отбора проб на набережной Севастопольской бухты

С 2010 г. обследования митилидного обрастания набережной не проводились. Вместе с тем на различных участках Черноморского побережья отмечены изменения, происходящие в митилидных поселениях [2–3]. Указано, что мидии становятся мельче и малочисленнее, а митилястеры заселяют освободившиеся поверхности. При этом происходит трансформация мощности естественных биофильтров, что вызывает изменение потенциала самоочищения акваторий. Поэтому целью настоящей работы стало определение современных количественных характеристик поселений мидий и митилястеров, а также оценка мощности биофильтра, формируемого ими на поверхности крупного гидротехнического сооружения Севастопольской бухты, имеющего важное значение в создании потенциала естественного самоочищения акватории севастопольской бухты. Проведено сравнение современных показателей с данными съёмки 2006 г.

Материал и методы. Материал собран на семи станциях (ст.), расположенных вдоль набережной Севастопольской бухты, между мысами Николаевским и Хрустальным (см. рис. 1). Пробы были отобраны в феврале – марте 2015 г. ручным скребком с глубины 0,5–1 м на площадке 16 × 16 см. На каждой станции материал отбирали в трёх повторностях. В 2006 г. пробы отбирались по той же схеме станций в аналогичный период с площадки 25 × 25 см в пяти повторностях. Таким образом, общее число проб, собранных на семи станциях, составило 56.

Из образцов обрастания, собранных с поверхности набережной Севастопольской бухты, отбирали мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) и митилястеров (*Mytilaster lineatus* Gmel.). Далее их измеряли штангенциркулем (точность 0,1 мм) и разделяли на размерные группы 1–10, 11–20, 21–30, 31–40, 41–50,

51–60, 61–70, 71–80, 81–90, 91–100 мм. Особи с пограничным размером относили к группе более крупных организмов. Особей мельче 1 мм не учитывали. Моллюсков взвешивали на технических весах (точность 0,1 г).

Фильтрационная работа ($л \cdot сут.^{-1} \cdot м^{-2}$), совершаемая за сутки моллюсками, обитающими на $1 м^2$ гидротехнического сооружения оценивалась исходя из средней скорости фильтрации моллюсков в i -ой размерной группе (F_i , $л \cdot экз.^{-1} \cdot сут.^{-1}$) [4–5] и численности размерных групп (N_i , $экз. \cdot м^{-2}$) по формуле 1:

$$F_{\Sigma} = \Sigma(F_i \cdot N_i). \quad (1)$$

Результаты и обсуждение. Из данных таблицы 1 видно, что за период с 2006 по 2015 гг. показатели численности и биомассы мидий значительно сократились. Численность снизилась на всех станциях, при этом на ст. 1, 2, 3 и 5 она изменилась в 3–4 раза. Биомасса также либо снизилась, либо осталась неизменной. Наибольшее сокращение биомассы мидий отмечено на ст. 2, 3 и 7, где она изменилась в 17, 48 и 6 раз соответственно. При этом на ст. 7, где в 2015 г. мидий стало в три раза больше, чем было в 2006 г., их биомасса уменьшилась почти в шесть раз. На ст. 5 и 6, несмотря на снижение численности моллюсков, отмечен рост их биомассы.

Показатели численности и биомассы митилястеров на поверхности сооружения изменились в меньшей степени, чем для мидий. Так, снижение численности моллюсков в 2–3 раза отмечено только на 3-х станциях (ст. 2, 3 и 7), при этом биомасса сократилась только на ст. 2 и 3. На остальных участках набережной отмечено двукратное повышение численности данных моллюсков и прирост их биомассы.

Неясным остаётся причина сокращения численности мидий. Зачастую такие явления могут быть связаны с сильными штормами, уничтожающими обрастание верхних горизонтов гидротехнических сооружений. Подобное явление отмечалось в 2007 г. [7]. Также это может быть вызвано наличием экстремальных температур [2]. В 2014–2015 гг. не было отмечено ни сильных штормов, ни экстремальных температур, способных вызвать массовую гибель моллюсков. Поэтому подобное явление сложно объяснить этими факторами. Причиной исчезновения мидий могло стать сокращение кормовой базы. К тому же следует указать на тот факт, что сокращение численности мидий было отмечено по всему крымскому побережью [3] и в других частях северо-западного сектора Чёрного моря [1]. Авторы считают, что деградация поселений мидий на берегоукрепительных сооружениях может являться также прямым следствием общего снижения биологического потенциала маточного стада моллюсков в донных биоценозах шельфа этого региона Чёрного моря в результате заморов и усилившейся эвтрофикации [8]. Не исключено и влияние хищничества со стороны брюхоногого моллюска рапаны *Rapana thomasiana* [1].

Размерный состав митирид также претерпел изменения. Данные о нём представлены на рисунке 2. В 2015 г., как и прежде, были обнаружены мидии

в диапазоне размеров 1–60 мм, при этом основная доля (56 %) приходилась на молодь длиной до 10 мм. Численность размерных групп мидий 20–40 мм возросла, доля остальных моллюсков в общей численности стала меньше. Крупные моллюски (50–60 мм) встречались редко, и только на некоторых станциях: в 2006 г. они обнаружены на расположенных в кутовой части бухты (ст. 3 и 4), а в 2015 г. на ст. 4 и 6. Последняя станция расположена на достаточно открытом для волнового воздействия участке набережной. На ст. 3 в 2006 г. присутствовали представители всех размерных групп в диапазоне 1–60 мм, а в 2015 г. — мидии были не крупнее 30 мм. Подобное же явление отмечено на ст. 2, где моллюски стали мельче, и их размер не превысил 20 мм, а в 2006 г. он достигал 40 мм. Обратное явление отмечено на ст. 5, 6 и 7, находящихся в районе м. Хрустальный, где моллюски стали крупнее. Диапазон размеров моллюсков там расширился с 1–40 до 1–60 мм, при этом доля мелких организмов сократилась.

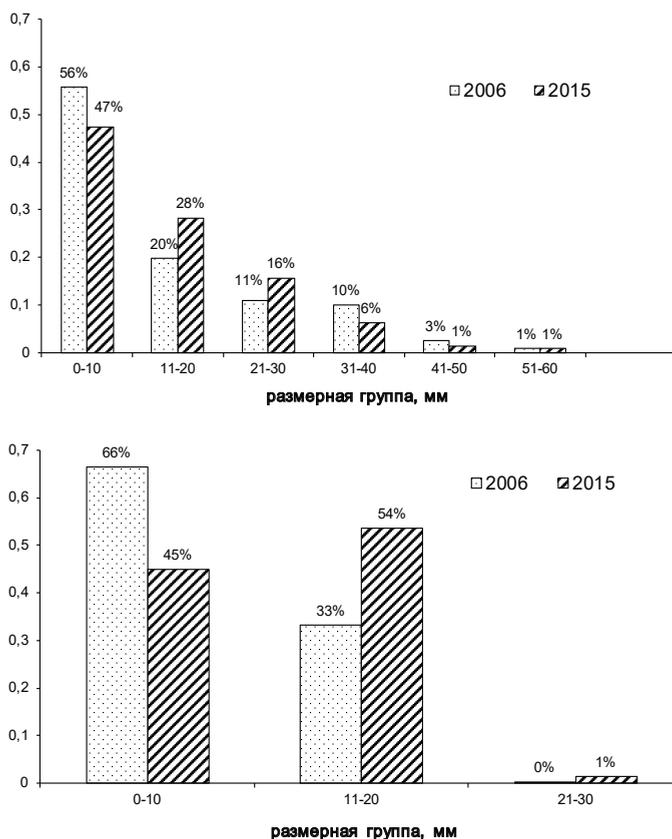


Рис. 2. Размерный состав мидий и митилястеров на подводной части набережной Севастопольской бухты

Митилястеры в среднем по набережной стали крупнее. Это отмечено повсеместно, за исключением ст. 1 и 3, на которых размерная структура последних изменилась незначительно, хотя и возросла доля наиболее

крупных организмов. Крупные митилястеры (длиной 20–30 мм) ранее отмечены на двух станциях, а их доля не превышала 1 %, то в 2015 г. их удалось обнаружить на четырех участках сооружения, а их удельный вес в численности доходил до 5 %.

Исходя из численности и размерного состава моллюсков, нами была сделана оценка фильтрационной работы, проводимой данным поселением (рис. 3).

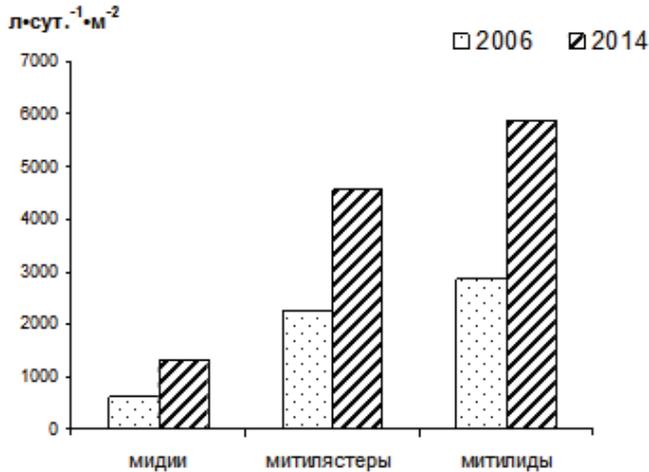


Рис. 3. Объёмы биофильтра, формируемого мидиями и митилястерами

Мощность биофильтра, формируемого мидиями, увеличилась с 611 до 1 310 л · сут.⁻¹ · м², а митилястерами — с 2 247 до 4 566 л · сут.⁻¹ · м². Таким образом, обе величины возросли в два раза, увеличив потенциал самоочищения акватории. Мощность митилюдного биофильтра на подводной части набережной зимой 2015 г. составила 5 876 л · сут.⁻¹ · м².

Заключение. Можно подытожить, что в период с 2006 по 2015 гг. мидий на поверхности набережной стало меньше, при этом они стали немного крупнее, поэтому биомасса моллюсков изменилась меньше, чем численность. Митилястеров, напротив, стало больше, их биомасса возросла и они были крупнее, нежели это отмечалось в предыдущие годы (см. табл. 1).

Перестройка структуры митилюдных поселений привела к изменению мощности биофильтра, формируемого моллюсками на поверхности гидротехнического сооружения. Как показали наши расчёты, мощность биофильтра, создаваемого мидиями, возросла с 611 до 1 310 л · сут.⁻¹ · м², а митилястерами — с 2 247 до 4 566 л · сут.⁻¹ · м². Таким образом, обе величины возросли в два раза, увеличив потенциал самоочищения акватории. Мощность митилюдного биофильтра на подводной части набережной зимой 2015 г. составила 5 876 л · сут.⁻¹ · м².

Таблица 1

**Численность и биомасса мидий и митилястеров
на набережной Севастопольской бухты**

Номер станции	Мидии				Митилястеры			
	Численность, экз. · м ⁻²		Биомасса, г · м ⁻²		Численность, экз. · м ⁻²		Биомасса, г · м ⁻²	
	2006 г.	2015 г.	2006 г.	2015 г.	2006 г.	2015 г.	2006 г.	2015 г.
1	1 575	417	76	67	610	1 667	145	413
2	1 130	352	217	13	2 715	1 576	257	127
3	370	91	765	16	2 610	911	342	18
4	3 440	2 904	2 875	2 851	2 500	4 544	220	1 055
5	2 990	807	90	407	3 775	7 656	121	488
6	1 790	846	701	1 275	8 000	17 031	229	1 551
7	1 075	3 690	649	114	8 160	4 351	248	465
Среднее по сооружению	1 767	1 301	767	678	4 053	5 391	223	588

Литература

1. *Говорин И.А.* Мидийный биофильтр обрастания гидротехнических сооружений Одесского залива: продолжающаяся тенденция деградации // Збірник наукових статей до Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми Чорного моря» (Одеса, 31 травня – 1 червня, 2007): з-б наук.ст. / Відп. ред. В.М. Небрат Одеса: інноваційно-інформаційний центр «ІНВАЦ», 2007. С. 54–57.

2. *Говорин И.А., Шаццло И.А.* Перифитонные поселения мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lam., 1819) и митилястера *Mytilaster lineatus* (Gmel., 1791) в условиях аномально высокой температуры прибрежных морских вод // *Ruthenica*. 2012. Vol. 22. № 2. P. 101–110.

3. *Ковалёва М.А., Болтачёва Н.А., Макаров М.В., Бондаренко Л.В.* Обрастания естественных твёрдых субстратов (скал) акватории Карадагского природного заповедника // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2014. Вып. 10. С. 77–81.

4. *Мионов Г.Н.* Фильтрационная работа и питание мидий Черного моря // *Тр. Севастоп. биол. станции*. 1948. Вып. 6. С. 338–352.

5. *Петров А.Н., Ревков Н.К.* Изучение респираторной и фильтрационной активностей у двух видов моллюсков в зависимости от экологических особенностей мест обитания // *Проблемы современной биологии*. М.: МГУ, 1987. С. 48–50. – Деп. в ВИНТИ, май 1987, № 66252 – В 87.

6. *Соловьёва О.В.* Влияние гидротехнических сооружений на процессы самоочищения в прибрежной зоне Чёрного моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь: ИнБИОМ НАН Украины, 2008. 22 с.

7. *Соловьёва О.В.* Митилидное обрастание гидротехнического сооружения после катастрофического шторма // *Материалы Научной конференции «Ломоносовские чтения» 2010 года и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов – 2010»* / Под ред. В.А. Трифонова, В.А. Иванова, В.И. Кузищина и др. Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2010. С. 50–51.

8. Шурова Н.М., Варигин А.Ю., Стадниченко С.В. Изменения популяционных характеристик черноморской мидии в условиях эвтрофирования и гипоксии морских прибрежных вод // Экология моря. 2004. № 65. С. 94–99.

Literatura

1. Govorin I.A. Midijny'j biofil'tr obrastaniya gidrotexnicheskix sooruzhenij Odeskogo zaliva: prodolzhayushhayasya tendenciya degradacii // Zbirnik naukovix statej do Mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii «E'kologichni problemi Chornogo morya» (Odesa, 31 travnya – 1 chervnya, 2007): z-b nauk.st. / Vidp. red. V.M. Nebrat Odesa: innovacijno-informacijnij centr «INVACz», 2007. S. 54–57.

2. Govorin I.A., Shacillo I.A. Perifitonny'e poseleniya midij *Mytilus galloprovincialis* (Lam., 1819) i mitilyastera *Mytilaster lineatus* (Gmel., 1791) v usloviyax anomal'no vy'sokoï temperatury' pribrezhny'x morskix vod // Ruthenica. 2012. Vol. 22. № 2. P. 101–110.

3. Kovalyova M.A., Boltachyova N.A., Makarov M.V., Bondarenko L.V. Obrastaniya estestvenny'x tvyordy'x substratov (skal) akvatorii Karadagskogo prirodnoho zapovednika // E'kosistemy', ix optimizaciya i ohrana. 2014. Vy'p. 10. S. 77–81.

4. Mironov G.N. Fil'tracionnaya rabota i pitanie midij Chernogo morya // Tr. Sevastopol. biol. stancii. 1948. Vy'p. 6. S. 338–352.

5. Petrov A.N., Revkov N.K. Izuchenie respiracionnoj i fil'tracionnoj aktivnostej u dvux vidov mollyuskov v zavisimosti ot e'kologicheskix osobennostej mest obitaniya // Problemy' sovremennoj biologii. M.: MGU, 1987. S. 48–50. – Dep. v VINITI, maj 1987, № 66252 – V 87.

6. Solov'yova O.V. Vliyanie gidrotexnicheskix sooruzhenij na processy' samoochishheniya v pribrezhnoj zone Chyornogo morya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Sevastopol': InBYuM NAN Ukrainy', 2008. 22 s.

7. Solov'yova O.V. Mitilidnoe obrastanie gidrotexnicheskogo sooruzheniya posle katastroficheskogo shtorma // Materialy' Nauchnoj konferencii «Lomonosovskie chteniya» 2010 goda i Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molody'x uchyony'x «Lomonosov – 2010» / Pod red. V.A. Trifonova, V.A. Ivanova, V.I. Kuzishhina i dr. Sevastopol': Filial MGU v g. Sevastopole, 2010. S. 50–51.

8. Shurova N.M., Varigin A.Yu., Stadnichenko S.V. Izmeneniya populyacionny'x karakteristik chernomorskoj midii v usloviyax e'vtrofirovaniya i gipoksii morskix pribrezhny'x vod // E'kologiya morya. 2004. № 65. S. 94–99.

O.V. Soloviova

Biofilter from Mytilidae on the Large Hydrotechnical Structure of Sevastopol Water Area (Black Sea)

The article presents the results of the study of the settlement of mollusks *Mytilus galloprovincialis* Lam. and *Mytilaster lineatus* Gmel. on the underwater part of the embankment of Sevastopol Bay, carried out in winter 2015. During the implementation of the comparison with a similar study in 2006 there was a restructuring of the settlements, which led to a doubling of the biofilter capacity, which is formed by mollusks on the surface of hydrotechnical structure. Power of mytilidae biofilter on the underwater part of the embankment in winter 2015 was $5\,876\,1 \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Keywords: mussels; mytilyasters; number; biomass; size structure; Sevastopol bay; concrete embankment.



ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В СИСТЕМЕ МЕЖНАУЧНЫХ СВЯЗЕЙ

А.А. Брылёва

Экологические тропы городов Подмосковья: проблемы и пути решения

В работе отражена идея необходимости создания экологических троп в парках и лесопарках Москвы и Подмосковья, расположенных вблизи образовательных учреждений. Проектирование подобных троп и их дальнейшее проложение при участии школьников и студентов должно способствовать росту экологических знаний и воспитанию экологической культуры. Данная деятельность будет мотивировать интерес учащихся к изучению растительного и животного мира родного края, к постижению естественных наук в целом.

Ключевые слова: экологические тропы; экологическое образование; воспитание и культура; парки, лесопарки и лесные массивы Москвы и Подмосковья; растительный и животный мир парков Московского региона.

Московская область занимает первое место по числу городов среди субъектов Российской Федерации. Она включает в себя 83 городских поселения, в том числе более десяти крупных, с населением, превышающим сто тысяч человек. Однако, как показывает анализ теоретических источников, экологические тропы в Подмосковье практически отсутствуют (если не считать экотропы на территории национального парка «Лосиный Остров») [5].

Нет нужды специально говорить о важности и необходимости экотроп — наглядных средств пропаганды экологических знаний среди населения. В парках и лесопарках самой Москвы в настоящее время действуют более 20 таких маршрутов, активно посещаемых как взрослыми, так и школьниками. В настоящее время они открыты для посетителей на таких особо охраняемых территориях как природно-исторические парки «Кузьминки-Люблино» и «Битцевский лес», памятник природы «Серебряный Бор», природный заказник «Воробьевы горы», музей-усадьба «Коломенское». Экологические тропы в природно-исторических парках «Кузьминки-Люблино» и «Битцевский лес» специально оборудованы для посещения детьми с ограниченными физическими возможностями. На всех экологических тропах проводятся экскурсии в сопровождении экскурсовода [4; 6].

Экскурсии проводятся и в национальном парке «Лосиный остров» (в нем разработано шесть экскурсионных маршрутов) и в природном заказнике «Воробьевы горы». Экологический центр заказника «Воробьевы горы» проводит их регулярно. Программа 2012–2014 годов предусматривает обустройство экологических троп в ландшафтном заказнике «Теплый Стан», природно-историческом парке «Измайлово», заказнике долины реки Сходни, лесопарке «Кусково».

Отсутствие у организаторов опыта создания подобных маршрутов тормозит процесс освоения лесных массивов подмосковных городов. Этот факт, как нам представляется, существенно влияет на уровень эффективности экологического просвещения населения и, прежде всего, подрастающего поколения. Продолжается загрязнение малых рек, весенние палы травы, увеличивается объем мусора на несанкционированных свалках в лесах Подмосковья.

Необходимость воспитания экологического сознания у молодого поколения жителей Московской области ни у кого не вызывает сомнений, но мало что-либо делается в этом направлении, о чем свидетельствует, в частности, отсутствие экологических троп в Подмосковье. При этом для их организации условия в области даже более благоприятны, чем в Москве. Большие лесопарки и расположенные рядом с городской чертой лесные массивы имеются в Лыткарино, Мытищах, Люберцах, Химках, Раменском, Красногорске, Дубне, Одинцове, Балашихе, Наро-Фоминске, Яхроме, Истре и целом ряде других больших и малых городов столичного региона.

Создание для всех жителей и особенно для детей и школьников такого нужного, эффективного и малозатратного объекта экологического просвещения, как экотропы, должно стать на ближайшие годы первоочередной задачей юных туристов-экологов Москвы. Тем более что у них уже есть опыт организации подобных маршрутов в городских условиях. Достаточно вспомнить создание силами школьников экотропы в Кузьминках [1].

В создании подобных маршрутов могут и должны принять участие и школьники подмосковных городов. Особенно это касается городов-научноградов, где уровень педагогических кадров позволяет организовать работу юных экологов на должном уровне. Это, в первую очередь, касается Дубны (Ратминский бор), Королёва (Мытищинский лесопарк), Фрязина (парк усадьбы Гребнево), Троицка (парк усадьбы Михайловское), а также Пущина и Черноголовки. Школьники г. Жуковского могли бы создать интересный экологокраеведческий маршрут на склонах Боровского кургана.

Для рекламы и пропаганды этого весьма важного дела хорошо подойдут информационные стенды. В качестве образцов подобных стендов можно использовать материалы одного из лучших охраняемых объектов города Москвы — заказника «Воробьевы горы», а также пособия, характеризующие флору и фауну различных районов Подмосковья [2–3; 8–10].

В проектирование и реальное воплощение проектов экологических троп могут включаться и студенты-географы, биологи и экологи педагогических

вузов и колледжей Москвы и Подмосковья. Причем подобную работу они могли бы проводить в непосредственной близости от стен своих образовательных учреждений. Так, студенты и аспиранты Московского государственного областного университета, расположенного у станции «Перловская» Ярославской железной дороги, вполне могли бы взять на себя создание экотропы в Мытищинском лесопарке. Экологи Московского городского педагогического университета занялись бы маршрутом экологической тропы у Мазуринского озера в Балашихе, а представители Московского государственного университета проложили бы тропу в лесном массиве близ Коммунарки.

Мы надеемся, что областные власти и городские администрации областных городов поддержат подобную инициативу, учитывая тот факт, что ее претворение в жизнь не потребует сколько-нибудь значительных объемов финансирования.

Воспитание бережного отношения к природе является основополагающей целью экологического образования. Оно призвано средствами обучения и развития личности сформировать систему знаний, умений, ценностных ориентаций, поведения и деятельности, обеспечивающих бережное отношение молодежи к окружающей среде [1].

Литература

1. *Брылева А.А.* Маршруты образовательного туризма экологической направленности и их использование в работе со школьниками // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2014. № 2 (14). С. 92–98.
2. *Вагнер Б.Б., Захарова Н.Ю.* Животные Подмосковного края. М.: Московский лицей, 2003. 270 с.
3. *Вагнер Б.Б.* Леса Московского региона. М.: МГПУ, 2010. 72 с.
4. *Петров В.В.* Лесная жизнь. М.: Просвещение, 1986. 160 с.
5. Путеводитель по экологическим тропам национального парка «Лосиный остров». М.: Недра. 2004. 83 с.
6. Программа развития Москвы: информационный материал «Парки». – URL: <http://www.mos.ru/about/infographics/growth/>
7. *Райков Б.Е., Римский-Корсаков М.Н.* Зоологические экскурсии. М.: МГУ, 1994. 216 с.
8. *Ремезова Г.Л., Эратова М.Е.* Войди в зеленый мир. М.: Просвещение, 1996. 192 с.
9. *Рысин Л.П.* Зеленая книга Москвы. М.: Театральный ин-т им. Бориса Щукина, 2003. 147 с.
10. *Туров С.С.* Животный мир Подмосковья. М.: Московский рабочий, 1961. 124 с.

Literatura

1. *Bry'leva A.A.* Marshruty' obrazovatel'nogo turizma e'kologicheskoy napravlenosti i ix ispol'zovanie v rabote so shkol'nikami // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2014. № 2 (14). С. 92–98.

2. *Vagner B.B., Zaxarova N.Yu.* Zhivotny'e Podmoskovnogo kraja. M.: Moskovskij licej, 2003. 270 s.
3. *Vagner B.B.* Lesa Moskovskogo regiona. M.: MGPU, 2010. 72 s.
4. *Petrov V.V.* Lesnaya zhizn'. M.: Prosveshhenie, 1986. 160 s.
5. Putevoditel' po e'kologicheskim tropam nacional'nogo parka «Losiny'j ostrov». M.: Nedra. 2004. 83 s.
6. Programma razvitiya Moskvy': informacionny'j material «Parki». – URL: <http://www.mos.ru/about/infographics/growth/>
7. *Rajkov B.E., Rimskij-Korsakov M.N.* Zoologicheskie e'kursionsii. M.: MGU, 1994. 216 s.
8. *Remezova G.L., E'ratova M.E.* Vojdi v zeleny'j mir. M.: Prosveshhenie, 1996. 192 s.
9. *Ry'sin L.P.* Zelenaya kniga Moskvy'. M.: Teatral'ny'j in-t im. Borisa Shhukina, 2003. 147 s.
10. *Turov S.S.* Zhivotny'j mir Podmoskov'ya. M.: Moskovskij rabochij, 1961. 124 s.

A.A. Bryleva

Ecological Trails of Cities of the Moscow Region: Problems and Ways of Solution

The work reflects the idea of necessity to create ecological trails in parks and forest parks of Moscow and the Moscow region, which are located near educational institutions. The design of such trails and their further laying with the participation of pupils and students should contribute to the growth of environmental awareness and education of ecological culture. This activity should motivate the interest of students to study the flora and fauna of their native land and the comprehension of natural sciences in general.

Keywords: ecological trails; environmental education, education and culture; parks, forest parks and forestry of Moscow and the Moscow region; flora and fauna of parks in the Moscow region.



**ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА
ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

**С.В. Суматохин,
Н.Г. Ионина**

**Программа профессиональной ориентации
учащихся по биологии в рамках ФГОС
основного общего образования**

В статье рассматривается содержание программы профессиональной ориентации школьников по биологии и другим учебным дисциплинам на ступени основного общего образования. Указываются наиболее благоприятные периоды формирования и развития профессиональной мотивации, обусловленные возрастными особенностями обучающихся. В статье уточнены основные критерии и показатели эффективности профориентационной работы.

Ключевые слова: профориентационная работа в школе; программа профессиональной ориентации обучающихся; внеурочная деятельность по профессиональной ориентации; критерии и показатели эффективности профориентационной работы школы.

В соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования в основной образовательной программе школы отдельным структурным элементом должна быть представлена Программа профессиональной ориентации учащихся. Следовательно, перед педагогическим коллективом и администрацией основной образовательной школы стоит сложная задача: создать условия для инициативного участия каждого учащегося в специфических видах деятельности во время уроков и вне уроков, которые будут способствовать становлению их дальнейшего пути в образовании и профессиональной деятельности. Основная идея профориентационной работы в современной школе — это создание социально-педагогического и психологического сопровождения социально-профессионального самоопределения обучающихся с учетом личностных особенностей, способностей, ценностей и интересов, с одной стороны, общественных потребностей, запросов рынка труда — с другой.

Основная цель данной программы — создание совокупности условий, обеспечивающих профессиональную ориентацию школьников на ступени основного общего образования.

Задачи программы

1. Формирование у учащихся:
 - объективных представлений о себе как субъекте собственной деятельности (прежде всего образовательной и профессиональной);
 - представлений о требованиях современного общества к выпускникам общеобразовательных учреждений и учреждений профессионального образования.
2. Овладение учащимися:
 - способами проектирования и реализации индивидуальных образовательных программ;
 - эффективными способами реализации деятельностных форм профессиональной ориентации на практике;
 - способами работы с открытыми источниками информации о рынке труда, трендах его развития и перспективных потребностях экономики региона проживания учащегося и страны в целом в кадрах определенной квалификации для принятия решения о выборе индивидуального и профессионального маршрута.

При неизменной общей цели конкретная цель и задачи работы каждой школы зависят от потребностей кадров в тех или иных профессиях, степени остроты этих потребностей, от возможностей и условий в данном регионе или городе. Успешная реализация поставленных задач в значительной степени зависит и от качества работы по каждому из этих направлений.

Непосредственное создание Программы необходимо начинать с работы над содержательным разделом, подключая к этой работе весь педагогический коллектив.

Содержанием программы профессиональной ориентации школьников на ступени основного общего образования является развитие деятельности учащихся, обеспечивающее формирование у них способности к адекватному и ответственному выбору будущей профессии.

На уровне самой школы в профориентационной работе со школьниками должны быть задействованы: администрация, педагоги, медицинские работники, школьные психологи, социальные педагоги, сами учащиеся и их родители. Важнейшим условием реального взаимодействия становится грамотное планирование работы, когда общая цель профориентационной помощи разбивается на ряд частных задач и каждую из этих задач решает тот человек, который готов выполнить ее качественно и ответственно. Это могут быть заинтересованные родители подростков, которые возьмут на себя решение важных задач. Более того, часть задач могут взять на себя и сами подростки, поскольку они и так помогают друг другу советами и даже реальными действиями в выборе профессии. Важно, чтобы взаимодействие всех участников профориентационного процесса не получилось формальным.

Для этого профориентационная работа должна включать в себя разнообразные, взаимодополняющие формы и методы, а не ограничиваться только профессиональной психодиагностикой и выдачей поверхностных рекомендаций, кому какая профессия подходит. Настоящая профориентация должна включать в себя курсы, посвященные планированию профессиональных и жизненных перспектив; работу с подгруппами и микрогруппами (по 2–4 человека) для обсуждения конкретных проблем профессионального самоопределения; индивидуальную работу с подростками, требующими особого отношения и внимания. Методы работы должны чередоваться и взаимно дополнять друг друга. В психолого-педагогической практике уже накоплен богатый опыт использования тестов и опросников, профориентационных игр, различных активизирующих процедур индивидуальной и групповой работы (специально организованных дискуссий по наиболее острым вопросам, карточных консультационных методов, бланковых технологий, различных схем анализа и самоанализа ситуаций самоопределения и др.).

В связи с этим возникает потребность в использовании современных педагогических технологий (технология социального партнёрства, технология формирования индивидуальной образовательной траектории, игровые технологии и др.), способствующих повышению активности школьников на этапе выбора профессии и обеспечивающих возможность самореализации личности в динамично меняющемся мире.

С точки зрения педагогов процессами формирования и развития мотивации можно управлять. Поэтому важно не упустить наиболее благоприятное время, обусловленное возрастными особенностями обучающихся 6–8-х классов. В этот период важно заложить фундамент будущей профессиональной мотивации. На классных часах и по возможности на уроках важно познакомиться обучающихся с содержанием труда в различных профессиях, раскрыть их внутреннюю сущность.

Профориентационная работа в 6–7 классах направлена на первичный анализ профессий и четкое определение двух основных моментов — содержания профессии и необходимых для нее способностей и умений. В 8–9 классах важно обратить внимание на самооценку, самоанализ наметившегося профессионального интереса. В 10–11 классах заканчивается процесс профессионального самоопределения, и в это время необходимо диагностировать соответствие между требованиями профессии и возможностями того или иного обучающегося.

Во внеурочных пространствах школы основным реализуемым содержанием образования программы профессиональной ориентации школьников на ступени основного общего образования становятся компетентности (универсальные и специальные), позволяющие учащимся научиться проектировать индивидуальные образовательные программы, делать осознанный выбор будущей программы профессиональной подготовки и образовательного пространства для ее реализации: коммуникативная компетентность; способность

к адекватной самооценке; отслеживание собственных успехов и неудач, корректировка в связи с этим собственных индивидуальных образовательных программ; анализ и отбор информации на открытых информационных ресурсах (в том числе в сети Интернет) в соответствии с задачами индивидуальной образовательной программы и др.

Внеурочную деятельность по профессиональной ориентации обучающихся можно реализовывать через исследовательские и социальные проекты, эксперименты, практики (производственные и социальные), экскурсии, кружки, занятия в клубных пространствах и др.

С целью осуществления более эффективного управления профессиональным развитием учащихся в основной школе необходимо выделить две ступени профориентационной работы:

I ступень (5–7 классы) содействует формированию осознания учащимися своих интересов, способностей, общественных ценностей, связанных с выбором профессии и своего места в обществе. При этом будущая профессиональная деятельность выступает на данной ступени как способ создания определенного образа жизни, как путь реализации своих возможностей.

II ступень (8–9 классы) способствует формированию представлений о профессиональных навыках, перспективах профессионального роста и мастерства, правилах выбора профессии, умения адекватно оценить свои личностные возможности в соответствии с требованиями избираемой профессии. Основное внимание уделяется консультационной помощи в выборе профессии, определяется стратегия действий по освоению запасного варианта.

В управлении профориентационной работой к наиболее важным относятся вопросы определения критериев и показателей эффективности профориентации. Сейчас эффективность профориентационной работы школы нередко определяется по тому, сколько учащихся (в процентах) выбрали те профессии, на которые их ориентировали. Если это сделать главной целью и самоцелью профориентации, притом без серьезной диагностической и воспитательной работы с учащимися, то вся работа может приобрести уклон, мешающий в первую очередь самой профориентации, подрывающий доверие к ней со стороны учащихся и их родителей. Достижение поставленной цели возможно и оправдано только при активной целенаправленной работе со школьниками, при выявлении их реальных интересов и способностей, при их собственной убежденности в правильном выборе профессии, которая отвечает как их личным склонностям и возможностям, так и потребностям города, района, села, в котором они живут, общества в целом.

Вот почему с педагогической точки зрения эффективность выбора профессии означает меру соответствия индивидуального выбора профессии рекомендациям педагога. При этом предполагается, что педагогические рекомендации основаны на учете как личных, так и общественных потребностей. Соответственно, чем больше учащихся избирает рекомендованные им

профессии, тем выше действенность профориентационной работы педагогов, школы в целом.

К основным результативным критериям и показателям эффективности профориентационной работы прежде всего относятся:

- достаточная информация о профессии и путях ее получения. Без ясного представления о содержании и условиях труда в избираемой профессии школьник не сможет сделать осознанного выбора. Показателем достаточной информированности в данном случае является ясное представление о требованиях профессии к человеку, о конкретном месте ее получения, о потребностях общества в данных специалистах;

- потребность в осознанном выборе профессии. Показатели сформированности потребности в обоснованном профессиональном выборе профессии — это самостоятельно проявляемая школьником активность в получении необходимой информации о той или иной профессии, желание (не обязательно реализуемое, но проявляемое) пробы своих сил в конкретных областях деятельности, самостоятельное составление своего профессионального плана;

- уверенность школьника в социальной значимости труда, т. е. сформированное отношение к нему как к жизненной ценности. По данным исследований жизненных ценностей учащихся 8–9 классов, отношение к труду как к жизненной ценности прямо соотносится у них с потребностью в обоснованном выборе профессии;

- степень самопознания школьника. От того, насколько глубоко он сможет изучить свои профессионально важные качества во многом будет зависеть обоснованность его выбора. При этом следует учитывать, что только квалифицированный специалист может дать школьнику достаточно полную и адекватную информацию о его профессионально важных качествах;

- наличие у обучающихся обоснованного профессионального плана. Обоснованность профессионального выбора справедливо считается одним из основных критериев эффективности профориентационной работы. Показателем обоснованности является умение соотносить требования профессии к человеку со знаниями своих индивидуальных особенностей, особенно тех из них, которые непосредственно влияют на успех в профессиональной деятельности, т. е. профессионально важные качества.

В качестве процессуальных критериев эффективности профориентационной работы выделяются следующие:

- индивидуальный характер любого профориентационного воздействия (учет индивидуальных особенностей школьника, характера семейных взаимоотношений, опыта трудовых действий, развития профессионально важных качеств);

- направленность профориентационных воздействий, прежде всего на разностороннее развитие личности (предоставление свободы в выборе профессии, создание возможности для пробы сил в различных областях

профессиональной деятельности, пробуждение активности в самостоятельном выборе сферы профессиональной деятельности и определении профессионального плана).

С помощью профориентационной деятельности (ролевые, дидактические игры, беседы, конкурсы, общественно полезный труд, экскурсии на предприятия, где работают родители, семейные праздники и др.) у учащихся формируется объективное представление о мире профессий, добросовестное отношение к труду, понимание его роли в жизни человека и общества, дается установка на выбор профессии, развивается интерес к будущей профессии.

Таким образом, проектирование содержательного раздела программы профессиональной ориентации учащихся является коллективным творческим результатом методической работы педагогического коллектива по определению конкретных обязательств — результатов формирования УУД и ИКТ-компетенций с учетом содержательных особенностей предметов основной образовательной программы, а также содержательных особенностей курсов по выбору, учебно-исследовательских и проектных работ.

Литература

1. *Александрова Е.А.* Педагогическое сопровождение самоопределения старших школьников. М.: НИИ школьных технологий, 2010. 336 с.
2. *Андреева Л.И.* Профессиональное самоопределение школьников в условиях инновационной деятельности общеобразовательного учреждения: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. Тольятти. 2010. 23 с.
3. *Ионина Н.Г., Войткевич Н.Н.* О профессиональном самоопределении учащихся // Биология в школе. 2010. № 5. С. 47–52.
4. *Ионина Н.Г.* Профессиональные пробы как форма организации профориентационной работы в школе // Биология в школе. 2013. № 9. С. 73–77.
5. *Ионина Н.Г.* Формирование у школьников готовности к осознанному выбору и профессиональному самоопределению — одно из направлений деятельности учителя биологии // Педагогическое Зауралье. 2013. № 1. С. 7–10.
6. *Ионина Н.Г., Шаболина О.С.* Портфолио достижений учащегося как технология профориентационной работы при обучении биологии // Биология в школе. 2014. № 5. С. 42–47.
7. *Мащенко О.Н.* Социальное партнерство как социально-педагогический феномен // Педагогическое образование и наука. 2011. № 1. С. 47–50.
8. Методика проведения профессиональных проб. Теория и практика профессиональных проб / Автор-сост. А.М. Уколова. Курган: ИПКиПРО Курганской области, 2009. 68 с.
9. Основные принципы профориентационной работы (теория и практика): учебно-методич. пособие / Авторы-сост.: Н.А. Криволапова, Н.Г. Ионина, Т.А. Сусллова. Курган: Ин-т развития образования и социальных технологий, 2013. 87 с.
10. *Парнов Д.А.* Социально-педагогическая технология профессиональной ориентации подростков // Управление образованием. 2013. № 4. С. 118–128.
11. Примерная основная образовательная программа образовательного учреждения: Основная школа / Сост. Е.С. Савинов. М.: Просвещение, 2011. 355 с.

12. Профессиональная ориентация учащихся: учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по спец. № 2120 «Общетеchn. дисциплины и труд» / А.Д. Сазонов, В.Д. Симоненко, В.С. Аванесов, Б.И. Бухалов; под ред. А.Д. Сазонова. М.: Просвещение, 1988. 223 с.
13. *Суматохин С.В.* О разработке содержания школьного биологического образования // Биология в школе. 2011. № 9. С. 17–27.
14. *Суматохин С.В.* Требования ФГОС к учебно-исследовательской и проектной деятельности // Биология в школе. 2013. № 5. С. 60–67.
15. *Суматохин С.В.* Учебно-исследовательская деятельность по биологии в соответствии с ФГОС: с чего начинать, что делать, каких результатов достичь // Биология в школе. 2014. № 4. С. 23–30.
16. *Суматохин С.В., Ионина Н.Г.* Современные технологии организации профориентационной работы учителем биологии // Вестник МГПУ, серия «Естественные науки». 2014. № 2 (14). С. 78–85.
17. *Власова С.С., Суматохин С.В.* Проектная деятельность социально-экологической направленности // Биология в школе. 2015. № 1. С. 51–57.
18. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 1897.
19. *Чистякова С.Н., Родичев Н.Ф., Сахарова В.И.* Тенденции развития профессиональной ориентации учащейся молодежи и вызовы времени // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2013. № 2. С. 23–29.
20. *Чистякова С.Н.* Профессиональная ориентация на карьеру // Профессиональное образование. Столица. 2014. № 7. С. 23–25.

Literatura

1. *Aleksandrova E.A.* Pedagogicheskoe soprovozhdenie samoopredeleniya starshix shkol'nikov. М.: НИИ школ'ных технологий, 2010. 336 с.
2. *Andreeva L.I.* Professional'noe samoopredelenie shkol'nikov v usloviyax innovacionnoj deyatel'nosti obshheobrazovatel'nogo uchrezhdeniya: avtoref. dis. ... d-ra ped. nauk. Tol'yatti. 2010. 23 s.
3. *Ionina N.G., Vojtkevich N.N.* O professional'nom samoopredelenii uchashhixsya // Biologiya v shkole. 2010. № 5. S. 47–52.
4. *Ionina N.G.* Professional'ny'e proby' kak forma organizacii proforientacionnoj raboty' v shkole // Biologiya v shkole. 2013. № 9. S. 73–77.
5. *Ionina N.G.* Formirovanie u shkol'nikov gotovnosti k osoznannomu vy'boru i professional'nomu samoopredeleniyu — odno iz napravlenij deyatel'nosti uchitelya biologii // Pedagogicheskoe Zaural'e. 2013. № 1. S. 7–10.
6. *Ionina N.G., Shabolina O.S.* Portfolio dostizhenij uchashhegosya kak texnologiya proforientacionnoj raboty' pri obuchenii biologii // Biologiya v shkole. 2014. № 5. S. 42–47.
7. *Mashhenko O.N.* Social'noe partnerstvo kak social'no-pedagogicheskij fenomen // Pedagogicheskoe obrazovanie i nauka. 2011. № 1. S. 47–50.
8. *Metodika provedeniya professional'ny'x prob. Teoriya i praktika professional'ny'x prob / Avtor-sost. A.M. Ukolova.* Kurgan: IPKiPRO Kurganskoj oblasti, 2009. 68 s.
9. *Osnovny'e principy' proforientacionnoj raboty' (teoriya i praktika): uchebno-metodich. posobie / Avtory'-sost.: N.A. Krivolapova, N.G. Ionina, T.A. Suslova.* Kurgan: In-t razvitiya obrazovaniya i social'ny'x tehnologij, 2013. 87 s.

10. *Parnov D.A.* Social'no-pedagogicheskaya texnologiya professional'noj orientacii podrostkov // *Upravlenie obrazovaniem*. 2013. № 4. S. 118–128.
11. Primernaya osnovnaya obrazovatel'naya programma obrazovatel'nogo uchrezhdeniya: Osnovnaya shkola / Sost. E.S. Savinov. M.: Prosveshhenie, 2011. 355 s.
12. Professional'naya orientaciya uchashhixsya: ucheb. posobie dlya studentov ped. in-tov po spec. № 2120 «Obshhetexn. discipliny' i trud» / A.D. Sazonov, V.D. Simonenko, V.S. Avanesov, B.I. Buxalov; pod red. A.D. Sazonova. M.: Prosveshhenie, 1988. 223 s.
13. *Sumatoxin S.V.* O razrabotke soderzhaniya shkol'nogo biologicheskogo obrazovaniya // *Biologiya v shkole*. 2011. № 9. S. 17–27.
14. *Sumatoxin S.V.* Trebovaniya FGOS k uchebno-issledovatel'skoj i proektnoj deyatel'nosti // *Biologiya v shkole*. 2013. № 5. S. 60–67.
15. *Sumatoxin S.V.* Uchebno-issledovatel'skaya deyatel'nost' po biologii v sootvetstvii s FGOS: s chego nachinat', chto delat', kakix rezul'tatov dostich' // *Biologiya v shkole*. 2014. № 4. S. 23–30.
16. *Sumatoxin S.V., Ionina N.G.* Sovremennye texnologii organizacii proforientacionnoj raboty' uchitelem biologii // *Vestnik MGPU, seriya «Estestvenny'e nauki»*. 2014. № 2 (14). S. 78–85.
17. *Vlasova S.S., Sumatoxin S.V.* Proektnaya deyatel'nost' social'no-e'kologicheskoy napravlenosti // *Biologiya v shkole*. 2015. № 1. S. 51–57.
18. Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart osnovnogo obshhego obrazovaniya, utverzhennyj prikazom Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii ot 17 dekabrya 2010 g. № 1897.
19. *Chistyakova S.N., Rodichev N.F., Saxarova V.I.* Tendencii razvitiya professional'noj orientacii uchashhejsya molodezhi i vy'zovy' vremeni // *Professional'noe obrazovanie v Rossii i za rubezhom*. 2013. № 2. S. 23–29.
20. *Chistyakova S.N.* Professional'naya orientaciya na kar'eru // *Professional'noe obrazovanie*. Stolicza. 2014. № 7. S. 23–25.

*S.V. Sumatohin,
N.G. Ionina*

The Program of Professional Orientation of Students in Biology within the Framework of FSS of Basic General Education

The article considers the content of program of vocational guidance for students in biology and other academic disciplines at the stage of basic general education. The authors indicate the most favourable periods of the formation and development of professional motivation, due to the age characteristics of students. The article specifies the main criteria and indicators of the effectiveness of vocational guidance work.

Keywords: vocational guidance work in school; program of professional orientation of students; extracurricular activity on professional orientation; criteria and indicators of the effectiveness of vocational guidance work of school.

М.А. Мельникова-Поддубная

Развитие коммуникативных умений у старших школьников на уроках географии

В представленном материале предложена методика работы школьного учителя, нацеленная на развитие у старшеклассников универсальных учебных действий на уроках географии. Основное внимание сосредоточено на коммуникативных умениях. Благодаря особенностям содержания географических знаний в старшей школе учитель получает широкие возможности для организации работы именно в этом направлении.

Ключевые слова: коммуникативные умения; старшеклассники; география; естественно-научный диспут.

Человек с момента своего появления на свет учится взаимодействовать с внешним миром и окружающими его людьми. Это умение формируется и совершенствуется на протяжении многих лет. Применительно к обучающимся данные умения квалифицируют как коммуникативные и универсальные.

А.Г. Асмолов утверждает, что «коммуникативные действия обеспечивают: социальную компетентность и учет позиции других людей, партнеров по общению или деятельности; умение слушать и вступать в диалог; участвовать в коллективном обсуждении проблем; интегрироваться в группу сверстников и строить продуктивное взаимодействие и сотрудничество и со сверстниками и взрослыми» [1].

Выделяются следующие коммуникативные умения:

- планирование учебного сотрудничества с учителем и сверстниками;
- инициативное сотрудничество в поиске и сборе информации;
- способность разрешения конфликтов;
- управление поведением партнера;
- умение с достаточной полнотой и точностью выразить свои мысли в соответствии с задачами и условиями коммуникации;
- владение монологической и диалогической формами речи в соответствии с грамматическими и синтаксическими нормами родного языка.

Старший школьный возраст считается непростым с точки зрения развития детской психики. В этот период подростки относятся к действительности с высокой долей критичности, часто преувеличивая оценку происходящего. Кроме того, в этом возрасте общение становится одним из ведущих видов деятельности. Если учитывать, что школьное обучение — это постоянная

работа в коллективе, то коммуникативные умения (сотрудничество с другими людьми и адекватная позиция в отношении чужого мнения) становятся важной составляющей определения эффективности обучения.

Курс социально-экономической и политической географии мира, который изучается в старшей школе, предоставляет широкие возможности для формирования именно коммуникативных универсальных учебных действий (УУД), так как обсуждение социальных составляющих жизни людей, различных политических ситуаций, особенностей формирования современной картины мира не могут привести к однозначному заключению и единой оценке, а значит, эти рассуждения будут сопровождаться столкновениями различных точек зрения в ходе дискуссий и споров.

Рассмотрим два вида организации учебной деятельности с целью формирования коммуникативных учебных действий, которые могут существовать как независимо друг от друга, так и в продолжение друг друга.

Если говорить о вариантах формирования коммуникативных учебных действий, то в качестве примера можно представить популярный вид деятельности — групповую работу. Учащимся предлагаются кейсовые задания, содержащие ситуационные задачи. В основном тексте кейса подробно описывается та или иная ситуация. К ней предлагаются четыре задания с элементами учебного моделирования, раскрывающие дальнейшее развитие ситуации. Для выполнения кейса класс разбивается на группы. В каждой группе происходит распределение обязанностей по выполнению заданий.

Л.С. Выготский писал: «Всякая функция в культурном развитии ребенка появляется на сцене дважды, в двух планах — сперва социальном, затем психологическом; сперва как форма сотрудничества между людьми, как категория коллективная, интерпсихическая, затем как средство индивидуального поведения, как категория интрапсихическая» [2].

Почему именно групповая работа будет способствовать развитию коммуникативных навыков? Приступая к работе в группе, каждый ученик примеряет на себя определенную социальную роль, берет на себя конкретные обязанности в выполнении общего задания. Старший школьник на своем этапе развития уже слабо подвержен склонности к капризам, в его сознании сложена определенная доля ответственности, он готов к работе, не смотря на личные симпатии и антипатии. В процессе решения общей задачи участники группы каждый раз будут искать оптимальные способы взаимодействия друг с другом. Для этого необходимо развивать адекватную самооценку, уметь аргументировать свою точку зрения, при этом уважительно относясь к любой другой. Все эти качества будут формироваться и совершенствоваться в процессе групповой работы, с каждым последующим заданием становясь крепче и эффективнее. А значит само задание будет выполняться качественнее и выше оцениваться, что является одной из основных целей группы.

В качестве продолжения работы над коммуникативными умениями, а также в качестве вида оценивания работы групп над заданиями возможно использование такого вида деятельности учащихся как диспут или дебаты.

Выше уже было указано, что содержание курса географии в старшей школе предполагает неоднозначные решения тех или иных учебных задач. Эти решения зависят и от уровня знаний, и от общей эрудиции учащихся, и от креативности их мышления.

Для предложенной ранее групповой работы в данном случае возможно использование одинаковых заданий для групп. С большей вероятностью решения окажутся различными. А для того, чтобы понять, насколько верными оказались эти решения, необходимо их основательно обсудить.

Если говорить о диспуте в целом, то сегодня (в отличие от первоначального значения) в широком смысле он представляет собой публичный спор.

Каждая группа или представители рабочих групп утверждают свою конкретную позицию, поэтому диспут на уроке должен проходить по жестким правилам, чтобы общение оставалось корректным до самого конца. Для этого необходима подготовка как учителя, так и учащихся.

Подобный вид учебной деятельности позволяет обеспечить для каждого учащегося возможность поделиться своей точкой зрения, включиться в активное действие на уроке, отказавшись от пассивного созерцания событий (как зачастую пытаются сделать некоторые ученики). В диспутах формируется общественное мнение, которое побуждает школьников пересмотреть свою позицию [4].

Главная задача учителя здесь — вести диспут таким образом, чтобы были исключены односложные ответы, а вместо них ученики давали бы развернутые аргументированные рассуждения.

Тематика мировой географии, а точнее геополитики и региональной экономики, подразумевает рассмотрение ряда вопросов сложных с морально-этической точки зрения. Выдающийся педагог А.С. Макаренко в начале прошлого столетия в своей работе «Проблемы школьного советского воспитания» писал о необходимости введения в школе такого предмета как теория морали: «Сдержанность, уважение к женщине, к старику, уважение к себе — вся теория поступков, которые относятся к целому обществу или к коллективу, может быть предложена нашим ученикам в чрезвычайно убедительной и сильной форме» [3].

В итоге, сложив воедино все обозначенные моменты, мы получим формулу для коррекции и укрепления коммуникативных умений старших школьников.

Важность развития коммуникативных универсальных учебных действий заключается еще и в том, что в последние годы у подростков снижается качество смыслового наполнения речи. Речь становится примитивной, односложной. Этот факт затрудняет взаимопонимание между людьми и в будущем. А сегодня на карьерном рынке требуются не только талантливые,

но и активные работники. Человек, умеющий логично, аргументированно и убедительно излагать свою точку зрения, способный за короткий промежуток времени находить общий язык с собеседниками и располагать их к себе, становится более конкурентоспособным.

Литература

1. *Асмолов А.Г., Бурменская Г.В., Володарская И.А.* и др. Как проектировать универсальные учебные действия в начальной школе: от действия к мысли: пособие для учителя / Под ред. А.Г. Асмолова. М.: Просвещение, 2008. 151 с.
2. *Выготский Л.С.* Собрание сочинений. Т. 3: Проблемы развития психики. М.: Педагогика, 1983. 369 с.
3. *Макаренко А.С.* Проблемы школьного советского воспитания / Сост. и авт. вводной статьи В.С. Аранский и А.И. Пискунов. М.: Учпедгиз, 1963. 140 с.
4. *Поварнин С.И.* Спор: О теории и практике спора. Минск: Полифакт, 1992. 48 с.

Literatura

1. *Asmolov A.G., Burmenskaya G.V., Volodarskaya I.A.* i dr. Kak proektirovat' universal'ny'e uchebny'e dejstviya v nachal'noj shkole: ot dejstviya k my'sli: posobie dlya uchitelya / Pod red. A.G. Asmolova. M.: Prosveshhenie, 2008. 151 s.
2. *Vy'gotskij L.S.* Sobranie sochinenij. T. 3: Problemy' razvitiya psixiki. M.: Pedagogika, 1983. 369 s.
3. *Makarenko A.S.* Problemy' shkol'nogo sovetskogo vospitaniya / Sost. i avt. vvodnoj stat'i V.S. Aranskij i A.I. Piskunov. M.: Uchpedgiz, 1963. 140 s.
4. *Povarnin S.I.* Spor: O teorii i praktike spora. Minsk: Polifakt, 1992. 48 s.

M.A. Melnikova-Poddubnaya

The Development of Communicative Skills of High School Students in Geography Lessons

In the presented material the author proposed methods of work of school teacher aimed at developing at senior students universal learning activities in geography lessons. The main focus is concentrated on communicative skills. Due to the peculiarities of the content of geographical knowledge in high school teacher gets ample opportunities to organize the work just in this direction.

Keywords: communicative skills; senior students; geography; natural-scientific debate.



На книжной полке

В.М. Мапельман

Рецензия на программу по курсу «Естествознание» для 10–11 классов общеобразовательных учреждений

В Федеральном государственном образовательном стандарте основного общего образования (второе поколение), утвержденном Минобрнауки России еще 17 декабря 2010 года (приказ № 1897) и в Федеральном государственном образовательном стандарте среднего (полного) общего образования (второе поколение), утвержденном Минобрнауки России 17 мая 2012 года (приказ № 413) есть разделы, прописывающие требования к освоению учащимися предметной области «Естественные науки» («Естественно-научные предметы»). Первая же позиция ориентирует педагогов на решение фундаментальной задачи — «формирование целостной научной картины мира». Задача такого содержания и широты охвата не встречается более в требованиях ни к одной предметной области. Создается впечатление, что разработчики данных документов либо знания по всем остальным школьным дисциплинам не считают научными, либо уверены, что они не касаются реально протекающих процессов в мире, либо полагают, что ЦЕЛОСТНАЯ картина мира носит исключительно природный характер.

Программа учебного предмета «Естествознание» разработана коллективом авторов: И.Ю. Алексашина (руководитель), К.В. Галактионов, И.С. Дмитриев, А.В. Ляпцев, И.И. Соколова [1]. Школьники его изучают в 10-м и 11-м классах. По мнению разработчиков, дисциплина «Естествознание», с одной стороны, должна представлять собой интегрированный курс, базирующийся на знаниях, полученных в ходе освоения дисциплин из разных предметных областей, а с другой стороны, она рассчитана на «освоение знаний о современной естественно-научной картине мира и методах естественных наук». Противоречивость поставленной задачи отразилась на содержании формулировок основных черт естественно-научной культуры. Ее четыре параметра — «целостный взгляд на мир как на систему; ценностный взгляд на мир и место человека в нем (человек — часть природы); эволюционный взгляд на мир — природу и человека в целом;

экологический взгляд на мир» — не могут быть ни обеспечены, ни представлены, ни реализованы исключительно на базе знаний о природе.

Свой расчет на интеграцию гуманитарного и естественно-научного образования авторы ничем не обосновывают, а методологические подходы просто декларируют в самых общих чертах. Выделяя основные особенности *интегративного* подхода, авторы программы:

- ведут речь лишь о «естественно-научных и гуманитарных знаниях», игнорируя все остальные виды теоретического знания;
- объекты природы ограничивают область биосферы;
- считают необходимым сосредотачивать внимание учащихся на вопросах структуры («любое явление мира как совокупность элементов»), а не системы, называя этот подход структуралистическим (вероятно имея в виду структурный подход?);
- ведущим методом «формирования основ современной естественно-научной картины мира» объявляют дедукцию, рассчитывая с ее помощью обеспечить «рассмотрение природы как целостной системы» и забывая, что дедукция — это движение от общего к частному (не перепутали ли авторы дедукцию с индукцией?).

Программа курса, возможно, учитывает тот факт, что в ближайшее время значительное число школьников вообще получит возможность не изучать ряд естественных и гуманитарных предметов, и эти потери чем-то надо компенсировать. Однако учителям курса «Естествознания» в этом случае опираться будет не на что, и они вынуждены будут демонстрировать профессиональную адекватность во ВСЕХ областях естественных (и не только) наук.

Удивительно скомпонована структура данного интегрированного курса, которая даже при самом лояльном подходе не представляет собой последовательную систему связи элементов «природа – наука – техника – общество – человек», так как три из них (техника, общество, человек) либо полностью, либо частично не являются природными процессами и явлениями, а один (наука) ими не ограничивается. Да и сама предлагаемая последовательность не имеет внутренней логики.

Итак, об основных разделах курса. Их три: современное естественно-научное знание о мире (природа – наука – человек); естественные науки и развитие техники и технологий (природа – наука – техника – человек); естественные науки и человек (природа – наука – техника – общество – человек). Первый из них, составляющий половину объема дисциплины (105 часов), изучается в 10-м классе, а второй (64 часа) и третий (41 час) — в 11-м классе.

Первый раздел представлен пятью основными темами и хотя звучание их общих формулировок максимально привязано к естествознанию, содержательная наполненность данных разделов далеко выходит за пределы его компетенций, порождая представление о естественных науках как универсальных и наиболее приспособленных к познанию абсолютно всех процессов окружающего мира.

Наиболее «пострадавшим» оказалось философское знание. Именно его проблематика была в значительной степени задействована и вульгаризирована (упрощена) в предлагаемом разделе программы.

В теме 1 «Структура естественно-научного знания: многообразие единства» предлагается рассмотреть значительное число вопросов общенаучного теоретического знания: принципы и признаки любого научного знания, методы научного исследования, уровни и формы научного познания, структура научного знания и его компоненты, исторические этапы развития научной методологии. Авторы как будто не желают смириться с существованием наук другой предметной ориентации (гуманитарных, социальных, точных, технических). Формулировки звучат таким образом, чтобы у учащегося не возникло сомнений в исключительной продуктивности естественно-научного подхода.

Например, «Понятие об экспериментальных научных методах, система и классификация научных методов... Теоретические методы исследования: классификация, систематизация, анализ, синтез, индукция, дедукция, моделирование...». Это все прерогативы исключительно естественных наук? Хотелось бы напомнить разработчикам и то, что логические и математические методы относятся к разряду общенаучных, а сами логика и математика не являются естественными науками.

В теме 2 «Структура мира природы: единство многообразия» авторы почему-то предлагают рассматривать вопросы материи, ее структуры и форм, эволюцию представлений о таких ее универсальных свойствах как пространство, время, симметрия (движение вынесено в отдельную тему, объективность не упоминается вообще). Но ведь ими обладают все материальные объекты, процессы и явления, а не только природные (при этом не надо забывать, что термины «природа» и «материя» не являются синонимами). Все эти параметры и свойства невозможно охарактеризовать исключительно в рамках естествознания.

Теме 3 «От структуры к свойствам» рекомендуется начать с античных представлений об атоме и элементе. Однако для этого школьнику придется просто «воспарить» над знаниями о природе, а также смириться со смысловым отождествлением терминов «информация» и «знание». Проблемы классификации в науке и связи методов классификации в науке с культурой вообще выглядят в разделе как инородное тело. А может быть, по мнению авторов, естествознание занимается и этим?..

В теме 4 «Природа в движении, движение в природе» происходит откровенная узурпация данного универсального для всех явлений, отношений, процессов и событий материального свойства в пользу исключительно природного мира.

В теме 5 «Эволюционная картина мира» практически нет положений, позволяющих представить картину МИРА, не подменяя ее картиной ПРИРОДЫ. Картина мира почему-то названа эволюционной, хотя в теме упоминаются процессы, которые бесспорно являются революционными. Встречаются и оригинальные «находки». Например, предлагается рассмотреть вопрос о «начале мира».

В итоге система «природа – наука – человек», которую авторы намеревались реализовать в первом разделе рассматриваемой программы, оказалась лишенной последнего элемента, а наука была ограничена естествознанием в лице физики, химии и биологии, что возможно и оправдано для курса «Естествознание», но не для заявленной системы.

Второй раздел дисциплины «Естествознание», который школьники должны освоить в 11-м классе, представлен тремя темами. Первая из которых — «Развитие техногенной цивилизации» – по своим содержательным рекомендациям не имеет отношения не только к естествознанию, но и к техногенной цивилизации, за исключением нескольких заключительных программных позиций. Упоминаний о растущем использовании техники, ее прогрессе и связи с наукой не достаточно для утверждения о наличии цивилизации подобного типа (тем более что ее довольно компактные хронологические рамки довольно давно определены историей научного знания).

Вторая и третья темы «Взаимодействие науки и техники» и «Естествознание в мире современных технологий» фактически воспроизводят, если не дублируют, курс современного состояния физических (в малой степени химических и фрагментарно биологических) знаний, дополненных сведениям о некоторых особо выдающихся технических отраслях, производствах и приемах. Хотелось бы заметить, что использование знаний о природных процессах для создания технических устройств не превращает технические науки в естественные и не лишает их собственной специфики.

Фактически в этой части программы обещанная система «природа – наука – техника – человек» тоже просто декларируется. Круг существующих естественных наук сужается до минимума; иные теоретические знания почти не привлекаются; техникосзнание, которое должно быть соотнесено с естествознанием, подменяется ссылками на технические приспособления; проблема человека так и продолжает оставаться не востребованной. При этом вообще не учитывается тот факт, что на технические науки и технические процессы не меньшее влияние, чем природа и естествознание, оказывают общество и науки социальные (но не гуманитарные), однако этого элемента в заявленной системе нет вообще.

Третья часть курса представлена двумя темами «Естественные науки и проблемы здоровья человека» и «Естественные науки и глобальные проблемы человечества». Первая из них вообще сосредоточена в основном на медицинских вопросах (с привлечением знаний биологии) и рекомендациях не столько касающихся физического здоровья и его поддержания, сколько заболеваний и вредных привычек, перерастающих в болезни. Это, пожалуй, первая тема курса, в которой речь идет о человеке, правда в крайне условном виде, лишь как о биологическом типе. Едва ли рекомендуемый подход позволит школьнику составить целостное представление как о человеке, так и о его здоровье, состояние которого не ограничивается его физико-биологическими параметрами, выходя далеко за пределы возможностей естествознания.

А вот заключительная тема в предложенном варианте просто не соответствует ни своему названию, ни данным науки, ни курсу «Естествознания». Глобальные проблемы не могут быть теоретически освоены в рамках исключительно естественных наук именно в силу того, что являются ГЛОБАЛЬНЫМИ и в пространственном, и в содержательном, и в прогностическом, и в познавательном аспектах. Они не исчерпываются экологическими проблемами, которые, в свою очередь, лишь отчасти связаны с охраной окружающей среды и не могут быть квалифицированы как чисто природные.

В заявленной последовательности «природа – наука – техника – общество – человек» самыми неработающими элементами оказались «природа» и «техника».

Следующий раздел программы посвящен «Учебно-тематическому плану курса «Естествознание»». Тематика предлагаемых в нем уроков довольно полно сориентирована на специфику естественно-научного знания. Хотя практикум «Критерии научного знания», лекции «Теоретические методы исследования», «Моделирование в науке» и «Между порядком и хаосом», конференции «Материальное единство мира» и «Формы и виды движения», семинар «Зависимость свойств объектов от структуры и состава — опыт искусства» вряд ли можно осуществить, сосредоточившись на знаниях физики, химии и биологии. При этом рекомендуемые типы уроков (см. табл.), сосредоточены более чем в половине случаях на занятиях лекционного плана.

Таблица

№ темы	Название раздела и темы	Объем лекционного материала (%)	Объем практикумов и семинаров (%)	Конференции и зачетные занятия (%)
1. Современное естественно-научное знание о мире				
1.	Структура естественно-научного знания: многообразие единства	44,5	27,8	27,7
2.	Структура мира природы: единство многообразия	63,3	20,0	16,7
3.	От структуры к свойствам	46,1	30,8	23,1
4.	Природа в движении, движение в природе	58,8	23,5	17,7
5.	Эволюционная картина мира	64,7	23,5	11,8
<i>Итого в 10 классе:</i>		55,5	25,1	19,4
2. Естественные науки и развитие техники и технологий				
6.	Развитие техногенной цивилизации	41,7	16,6	41,7
7.	Взаимодействие науки и техники	52,2	26,1	21,7

№ темы	Название раздела и темы	Объем лекционного материала (%)	Объем практикумов и семинаров (%)	Конференции и зачетные занятия (%)
8.	Естествознание в мире современных технологий	61,6	19,2	19,2
3. Естественные науки и человек				
9.	Естественные науки и проблемы здоровья человека	58,3	16,7	25,0
10.	Естественные науки и глобальные проблемы человечества	60,0	13,3	26,6
Итого в 11 классе:		54,8	18,4	26,8
Итого по курсу:		55,2	21,7	23,1

В заключительном разделе программы представлена рекомендуемая литература для учителей. Здесь приведены качественные, профессионально состоятельные источники по таким отдельным наукам, как физика, химия, биология и экология (рассматриваемая исключительно как естественная дисциплина). В отношении других естественных наук авторы программы литературных рекомендаций не дают. Ни о каких материалах, которые бы могли помочь учителям в организации преподавания интегрированного курса, в подготовке лекций, практических занятий и конференций, напрямую не касающихся естествознания, разработчики не упоминают.

Создается впечатление, что авторы программы попытались скомпоновать дисциплину, аналогичную предмету «Окружающий мир», но только для старших школьников. Понять их можно, так как судьба многих естественных дисциплин в современной школе крайне плачевна. Однако, собравшись вместе, представители различных областей знаний о природе все-таки решили предложить «интегрированный курс, то есть объединяющий знания из различных предметных областей». При этом ни одного представителя этих предметных областей в авторском коллективе нет, достижения иных наук даже не упоминаются, специальная литература и иные источники не привлекаются, а «целостная научная картина мира» почти сразу же превращается в «естественно-научную картину мира».

Так что же будут преподавать школьникам 10–11 классов? «Естествознание»?

Литература

1. *Алексашина И.Ю., Галактионов К.В., Дмитриев И.С., Ляпцев А.В., Соколова И.И.* Программа по курсу «Естествознание» для 10–11 классов общеобразовательных учреждений. – URL: http://www.prosv.ru/ebooks/Aleksashina_Estestvozn_5-10-11_Progr/2.html

Literatura

1. *Aleksashina I.Yu., Galaktionov K.V., Dmitriev I.S., Lyapcev A.V., Sokolova I.I.* Программа по курсу «Estestvoznanie» dlya 10–11 klassov obshheobrazovatel'ny'x uchrezhdenij. – URL: http://www.prosv.ru/ebooks/Aleksashina_Estestvozn_5-10-11_Progr/2.html

**АВТОРЫ «ВЕСТНИКА МГПУ»,
СЕРИЯ «ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ»,
2015, № 4 (20)**

Брылёва Александра Александровна — аспирант кафедры географии ИМИЕН ГАОУ ВО МГПУ.

E-mail: bry-aleksandra@yandex.ru

Бубнов Владимир Алексеевич — профессор, доктор технических наук, заведующий общеуниверситетской кафедрой естественно-научных дисциплин Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ.

E-mail: vladimbubnov@yandex.ru

Дмитриева Валентина Тимофеевна — кандидат географических наук, профессор кафедры географии Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ.

E-mail: dvtmgpu@yandex.ru

Ионина Наталья Геннадьевна — доцент, кандидат биологических наук, доцент кафедры естественно-математического образования Тюменского областного государственного института развития регионального образования.

E-mail: nata.nina72@yandex.ru

Кручинина Анастасия Дмитриевна — аспирант, ассистент кафедры общей биологии и биохимии Пензенского государственного университета.

E-mail: a.d.kruchinina@mail.ru

Мапельман Валентина Михайловна — профессор, доктор философских наук, заведующая кафедрой безопасности жизнедеятельности Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ.

E-mail: mapelman@mail.ru

Мельникова-Поддубная Мария Александровна — учитель географии ГБОУ СОШ № 924 г. Москвы, аспирант ГАОУ ВО МГПУ ИМИЕН.

E-mail: mel_maria@list.ru

Напрасников Александр Тимофеевич — доктор географических наук, главный научный сотрудник Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск).

E-mail: naprasnikov@irigs.irk.ru

Резанов Александр Геннадиевич — профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, экологии и методики обучения биологии

Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ.

E-mail: RezanovAG@ins.mgpu.ru

Соловьёва Ольга Викторовна — кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБУН Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН.

E-mail: kozl_ya_oly@mail.ru

Суматохин Сергей Витальевич — профессор, доктор педагогических наук, заведующий кафедрой биологии, экологии и методики обучения биологии Института математики, информатики и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ.

E-mail: ssumatohin@yandex.ru

Фадеева Елена Олеговна — доцент, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН.

E-mail: alekto@aha.ru

«MCU Vestnik». Series «Natural Science» / Authors, 2015, № 4 (20)

Bryleva Alexandra Alexandrovna — postgraduate, Department of Geography, Institute of Mathematics, Computer science and Natural sciences, MCU.

E-mail: bry-aleksandra@yandex.ru

Bubnov Vladimir Alekseevich — Professor, Doctor of Engineering, head of the university-wide Department of Natural Science disciplines, Institute of Mathematics, Computer science and Natural Sciences, MCU.

E-mail: vladimbubnov@yandex.ru

Dmitrieva Valentina Timofeevna — Ph.D. (Geography), Professor, Department of Geography, Institute of Mathematics, Computer science and Natural Sciences, MCU.

E-mail: dvtmgpu@yandex.ru

Ionina Natalia Gennadyevna — docent, Ph.D. (Biology), docent, Natural and Mathematical Education department, Tyumen Region State Institute of Development of Regional Education.

E-mail: nata.nina72@yandex.ru

Kruchinina Anastasia Dmitriyevna — postgraduate, assistant, General Biology and Biochemistry department, Penza State University.

E-mail: a.d.kruchinina@mail.ru

Mapelman Valentina Mikhaylovna — Professor, Doctor of Philosophy, head of the Department of Safety of Vital Activity, Institute of Mathematics, Computer Science and Natural Sciences, MCU.

E-mail: mapelman@mail.ru

Melnikova-Poddubnaya Maria Alexandrovna — geography teacher of secondary education school № 924 in Moscow, postgraduate, Moscow City University, Institute of Mathematics, Computer science and Natural Sciences.

E-mail: mel_maria@list.ru

Naprasnikov Alexandr Timofeyevich — Doctor of Geography, chief researcher at V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk).

E-mail: naprasnikov@irigs.irk.ru

Ryazanov Alexandr Gennadyevich — Professor, Doctor of Biology, professor of Department of Biology, Ecology and Methods of Teaching Biology, Institute of Mathematics, Computer Science and Natural Sciences, Moscow City University.

E-mail: RezanovAG@ins.mgpu.ru

Soloviova Olga Victorovna — Ph.D. (Biology), researcher, Federal State Budgetary Institution of Science A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Studies, A.O. Kovalevsky, Russian Academy of Sciences.

E-mail: kozl_ya_oly@mail.ru

Sumatohin Sergey Vitalyevich — professor, Doctor of Pedagogy, head of Department of Biology, Ecology and Methods of Teaching Biology, Institute of Mathematics, Computer science and Natural Sciences, MCU.

E-mail: ssumatohin@yandex.ru

Fadeeva Elena Olegovna — docent, Ph.D. (Biology), senior researcher at A.N. Severtsov Institute of Problems of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences.

E-mail: alekto@aha.ru

Требования к оформлению статей

Уважаемые авторы!

Редакция просит Вас при подготовке материалов, предназначенных для публикации в «Вестнике МГПУ», руководствоваться требованиями к оформлению научной литературы, рекомендованными Редакционно-издательским советом Университета.

1. Шрифт — Times New Roman, 14 кегль, межстрочный интервал — 1,5, поля: верхнее, нижнее и левое — по 20 мм, правое — 10 мм. Объем статьи, включая список литературы, постраничные сноски и иллюстрации, не должен превышать 40 000 печатных знаков (1,0 а.л.). При использовании латинского или греческого алфавита обозначения набираются: латинскими буквами — в светлом курсивном начертании; греческими буквами — в светлом прямом. **Рисунки** должны выполняться в графических редакторах. **Графики, схемы, таблицы** нельзя сканировать.

2. Инициалы и фамилия автора набираются полужирным шрифтом в начале статьи слева; заголовок — посередине полужирным шрифтом.

3. В начале статьи после названия помещаются аннотация на русском языке (не более 500 печатных знаков) и ключевые слова (не более 5). Ключевые слова и словосочетания разделяются точкой с запятой.

4. Статья снабжается пристатейным списком литературы, оформленным в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая запись» на русском и английском языках.

5. Ссылки на издания из пристатейного списка даются в тексте в квадратных скобках, например: [3: с. 57] или [6: т. 1, кн. 2, с. 89].

6. Ссылки на Интернет-ресурсы и архивные документы помещаются в тексте в круглых скобках или внизу страницы по образцам, приведенным в ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка».

7. В конце статьи (после списка литературы) указываются автор, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

8. Рукопись подается в редакцию журнала в установленные сроки на электронном и бумажном носителях.

9. К рукописи прилагаются сведения об авторе (ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, электронный адрес для контактов) на русском и английском языках.

10. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

В случае несоблюдения какого-либо из перечисленных пунктов автор по требованию главного или выпускающего редактора обязан внести необходимые изменения в рукопись в пределах срока, установленного для ее доработки.

Более подробно о требованиях к оформлению рукописи можно посмотреть на сайте www.mgri.ru в разделе «Документы» издательского отдела Научно-информационного издательского центра.

По вопросам публикации статей в журнале «Вестник МГПУ» серии «Естественные науки» предлагаем обращаться к составителю, заведующей кафедрой безопасности жизнедеятельности *Мапельман Валентине Михайловне* (e-mail: mapelman@mail.ru).

Вестник МГПУ

Журнал Московского городского педагогического университета

Серия «Естественные науки»

2015, № 4 (20)

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации:
ПИ № ФС77-62501 от 27 ноября 2015 г.

Главный редактор:

заведующая кафедрой географии Института математики, информатики
и естественных наук ГАОУ ВО МГПУ, доктор исторических наук,
кандидат географических наук, профессор **Шульгина О.В.**

Составитель:

доктор философских наук, профессор **В.М. Мапельман**

Главный редактор выпуска:

кандидат исторических наук, старший научный сотрудник **Т.П. Веденеева**

Редактор:

В.П. Бармин

Перевод на английский язык:

А.С. Джанумов

Техническое редактирование и верстка:

О.Г. Арефьева

Научно-информационный издательский центр ГАОУ ВО МГПУ:

129226, Москва, 2-й Сельскохозяйственный проезд, д. 4.

Телефон: 8-499-181-50-36.

E-mail: Vestnik@mgpu.ru

Подписано в печать: 21.12.2015 г.

Формат 70 × 108 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Объем 8 усл. п.л. Тираж 1000 экз.