

ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 004:574

ОПЫТ РАБОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В. В. Меншуткин

Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, Россия

Представлены краткие записи о том, как развивалось использование вычислительной техники в разнообразных экологических исследованиях. На примере опыта работы автора с различными задачами показана эволюция становления и использования вычислительной техники на начальных этапах ее появления и до наших дней. Менялись не только ЭВМ, компьютеры, но и задачи, для которых решались разные экологические проблемы в области наук о Земле и о жизни.

Ключевые слова: вычислительная техника; экологические исследования; моделирование в экологии.

V. V. Menshutkin. THE EXPERIENCE OF COMPUTING TECHNOLOGY APPLICATION IN ECOLOGICAL RESEARCH

Brief notes on how the application of computing machinery in various ecological studies has developed are offered. The author's own experience of handling diverse tasks is described as an example of the evolution and uses of computing machines from their early days until now. Not only computers have been changing, but also the tasks addressed through solution of various ecological problems in Earth and Life Sciences.

Keywords: computing machinery; ecological research; modeling in ecology.

Участвовать в научной работе я начал в 1942 году метеонаблюдателем в экспедиции по Байкалу знаменитого лимнолога, профессора Г. Ю. Верещагина, на ледоколе «Ангара» [Меншуткин, 2007, с. 75]. С тех пор прошло много времени и произошли большие изменения не только в науке. Появилась возможность на примере одной научной судьбы посмотреть на те кардинальные сдвиги, которые свершились

в самой сущности науки, и в частности, науки о Земле и о жизни. Ключевым моментом в этих изменениях было появление и бурное развитие вычислительной техники. На рис. 1 представлена в самом общем виде схема работ по изучению свойств некоего объекта с минимальным привлечением вычислительной техники (только для статистической обработки данных), которая использовалась в 70-х годах прошлого века.



Рис. 1. Традиционная схема исследования объекта
Fig. 1. Traditional scheme of the object study

В моем детстве (в 30-х годах XX века), когда никаких компьютеров еще не существовало, вычислительная техника была представлена логарифмической линейкой, которая имела у отца. Во втором классе школы я уже научился умножать и делить на логарифмической линейке, но складывать и вычитать все равно приходилось столбиком. Арифмометр «Феликс» как-то не произвел тогда на меня впечатления. Другое дело – дореволюционный арифмометр Однера размером с кассовую машину в известном магазине Елисеева на Невском проспекте Ленинграда. На этой машине я считал отладочный вариант модели популяции окуня в озере Херя-ярви, расположенном под Ленинградом. Для оз. Байкал мне пришлось рассчитывать тепловые потоки через байкальский лед [Меншуткин, 1964] на очень шумной машинке – арифмометре «Рейнметалл».

Появление компьютеров коренным образом изменило положение вещей, а расчеты на «Рейнметалле» легли в основу моей первой компьютерной программы, написанной для машины «БЭСМ-2» в истинных адресах и машинных кодах. Никаких трансляторов тогда еще не было, во всяком случае, в городе Иркутске, где я в то время жил и работал. Наконец появился вариант транслятора с АЛГОЛ-60, разработанный А. П. Ершовым. Это было как «луч света в темном царстве». На Алголе мной была написана модель сообщества рыб озера Дальнего на Камчатке. В те времена на Камчатке вообще ни у кого не было вычислительной машины, за исключением военных, к которым и близко нельзя было подойти. Программу из Петропавловска-Камчатского в Иркутск передавали по радио в виде служебной телеграммы. При первой попытке передачи программы в виде обыкновенной телеграммы я встретил категорический отказ: «Шифрованных текстов не передаем», – прозвучало из почтового окошка. Пришлось сочинять могучую бумагу от Института на предмет разрешения передачи програм-

мы на Алголе с Камчатки в Иркутск под видом радиogramмы. Надо сказать, что камчатские почтари постарались и передали текст программы без единой ошибки [Крогиус и др., 1969].

Став в 1965 году сотрудником Института эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова в Ленинграде (ИЭФБ АН СССР), я остался фактически без вычислительной машины. Поиски ее привели меня в Ленинградский нейрохирургический институт имени Поленова на улице Маяковского, в котором появилась новенькая ЭВМ «Минск-2» и были приняты на работу два инженера, окончивших ЛЭТИ – Володя Темов и Саша Клещев. Никаких конкретных вычислительных задач в нейрохирургическом институте не было, и ЭВМ «Минск-2» использовалась в основном для «отопления» первого этажа в холодную ленинградскую зиму. Первые программы пришлось писать в машинных кодах (это была модель внутричерепного кровообращения для космической лаборатории ИЭФБ АН СССР [Москаленко, 1967]). А. С. Клещев и В. Л. Темов начали придумывать собственный язык программирования с транслятором, но уже не для «Минск-2», а для более мощной ЭВМ «Днепр-2». «Днепр-2» была установлена не в ВЦ Ленинградского нейрохирургического института, а в Институте физиологии им. И. П. Павлова АН СССР в Колтушах под Ленинградом. А. С. Клещев и В. Л. Темов стали сотрудниками Института физиологии, где они разработали язык программирования ИНФ для ЭВМ «Днепр-2». Я «потянулся» вслед за ними и стал постоянным пользователем языка ИНФ в этом институте.

На языке ИНФ я написал программы для моделирования экологической системы Японского моря (по материалам 42-го рейса НИС «Витязь», в котором принимал участие) и модели сообщества рыб в озере Воже¹. Самой интересной стала, пожалуй, модель дарвиновской эволюции, созданная под непосредственным влиянием профессора МГУ Б. М. Медникова [Меншуткин, 1977]. Элементом этой модели была особь со своим фенотипом и генотипом. Чтобы смоделировать, например, такое событие, как выход позвоночных животных из водной среды на сушу, требовалось одновременное существование десятков, а то и тысяч таких особей. При не слишком высоком, на современный взгляд, быстродействии ЭВМ «Днепр-2» на проход только одной реализации

¹ Воже – озеро в Вологодской обл., через которое в 70-х годах XX века планировалась «перевоска» вод с Севера в р. Волгу, для повышения уровня Каспия (прим. Н. Н. Филатова).

случайного процесса эволюции уходило несколько часов. Учитывая это обстоятельство, моделировать эволюцию можно было только в летнее время, когда в институте основная масса пользователей ЭВМ уходила в отпуск. За те белые петербургские ночи я и дежурные инженеры «Днепр-2» могли воочию наблюдать процесс эволюции со всей его непредсказуемостью. Вот вроде уже все готово к выходу из моря на сушу – и воздухом дышать научились, и вместо плавников что-то вроде лап... Ну, давай, выходи, дерзай! Дерзают..., но не приживаются и гибнут. Пройдет еще миллион лет (как теперь говорят, виртуальных лет), и другие, более удачливые, выйдут на землю и начнут там плодиться и размножаться. Инженеры предлагают заключить пари на бутылку пива тому, кто точнее предскажет срок выхода на сушу в следующих реализациях. Я, как автор программы, тоже участвую в этом деле, но, к всеобщему удивлению, мое предсказание оказывается самым неудачным. Вот она – эволюция, пусть и очень далекая от реальности. У организма в модели всего два десятка генов в геноме, а в природе их десятки тысяч. Да и самих участников маловато – в природе счет идет на миллионы. При использовании современных суперкомпьютеров сейчас можно достичь большего приближения к природе, но тогда, в 70-е годы прошлого века, это не представлялось возможным.

Участие в океанских рейсах ИО АН СССР на экспедиционных судах «Менделеев» и «Курчатов» было сопряжено с переходом на бортовые американские компьютеры «Хьюлетт-Паккард» и персональные компьютеры IBM-486, которые поставляла экспедиции Польская академия наук в лице академика Ромуальда Клековского [Меншуткин, 2018]. По части программного обеспечения предпочтение тогда отдавалось языку QBASIC. Из созданных моделей мне запомнилась экосистема экваториального апвеллинга. Эту модель мы делали совместно с З. З. Финенко из Севастополя. Замечательна модель тем, что объясняла высокие концентрации неорганического фосфора в поверхностном слое при избытке освещенности. Оказалось, что все дело в экстремально высоких значениях вертикального турбулентного перемешивания в течении Кромвелла.

Время, проведенное в океанских рейсах (всего около двух лет), было временем активного освоения экранного редактора, машинной графики, методов построения и статистического исследования баз данных океанологических наблюдений. К этому же времени относится создание монте-карловской модели вертикаль-

ных суточных миграций зоопланктона. Сначала в соавторстве с Ю. А. Рудяковым (океанские остракоды), а затем совместно с М. Годлевской (антарктический криль).

Работа по руководству комплексной программой «Невская губа» [Меншуткин, 1997] была направлена на решение вопроса целесообразности продолжения работ по сооружению дамбы, предназначенной для защиты Санкт-Петербурга от наводнений. Основным критерием модели являлась защита Невской губы от антропогенных загрязнений. Обобщающая модель, предназначенная для поддержки решений Правительством Санкт-Петербурга (исполнитель – малое предприятие «ЭКРОС» при «Военмехе», рук. М. М. Степанов), опиралась на целый комплекс подмоделей. Это подмодель экосистемы Финского залива, как часть модели Балтийского моря, разрабатываемая в Стокгольмском университете нашим соотечественником О. П. Савчуком. Создание подмодели экосистемы самой Невской губы брал на себя Зоологический институт РАН (д. б. н. А. А. Умнов). Далее шла разработка подмодели реки Невы («ЭКРОС», рук. В. В. Семенов). Подмодель экосистемы Ладожского озера обеспечивала группа д. ф.-м. н. Л. А. Руховца (СПб ЭМИ РАН и Институт озероведения РАН). Связь между подмоделями осуществлялась при помощи передачи числовых массивов и фрагментов программ. Существенные трудности были связаны с тем, что при создании подмоделей использовались различные языки программирования и вычислительные машины. Например, модель экосистемы Ладожского озера реализована на машине БЭСМ-6, а Финского залива и Невской губы – на персональных компьютерах «Хьюлетт-Паккард». На кардинальную переделку всего программного материала просто не было времени. В обобщающую программу поступали результаты заранее разработанных режимов функционирования подмоделей. Для обсуждения результатов работы на заседании Городской думы Санкт-Петербурга по инициативе ученого секретаря Объединенного научного совета по комплексной программе «Экология и природные ресурсы» был создан специальный демонстрационный вариант обобщающей модели со звуковым музыкальным сопровождением.

Полученные результаты со временем полностью оправдались – защитная дамба города была построена, но никакого катастрофического загрязнения Невской губы, которое предсказывали скептики, не произошло.

Во время работы в Международном экологическом центре в местечке Дзеканув Лесны

около Варшавы (1996–2004 гг.) кроме обычной научной работы мне пришлось принимать участие в коммерческом использовании вычислительной техники. Уже после ухода пани Зоси Фишер с поста директора центра и назначения нового директора в центре появились три польских пана коммерческой наружности и спрашивали: «Кто здесь у вас делает модели на компьютере?». Руководство центра указало на меня. Оказалось, что паны представляют некоторую коммерческую организацию, подрядившуюся очистить реку Варту до общеевропейского уровня, с тем чтобы облегчить Польше вхождение в Европейский союз. Под эту очистку Брюссель может дать крупные кредиты в евро, но для получения кредита нужен научно обоснованный расчет затрат на очистку реки. Кто-то сказал панам, что тут без компьютерной модели не обойтись, вот они и пришли в центр. Новый директор центра одобрил заключение договора, и работа началась. Мне в помощники выделили молодого сотрудника по имени Бартош, который недавно окончил гидрологический колледж или что-то вроде этого. По-русски Бартош говорил плохо, но меня отлично понимал. Я по-польски говорил еще хуже, но польский Бартоша вполне разбирал. Так мы и вели диалог на двух языках. Пан Клевковский говорил, что слушать нас со стороны было очень забавно.

У Бартоша был автомобиль «Малюх», и мы начали работу с визуального осмотра объекта моделирования – реки Варты. Оказалось, что это самая обыкновенная река, вроде нашей Луги, в меру загрязненная бытовыми сбросами и без вопиющих промышленных отходов. Дальше последовал визит в гидрометеослужбу, где симпатичная пожилая пани выложила перед нами данные по Варте за последние 20 лет. Бартош занялся формальной стороной передачи данных, а я вернулся в Дзеканув Лесны стряпать саму модель. У меня в руках был работающий прототип для Невы, который сделали ребята из «ЭКРОСа», но его пришлось кардинально переделать. С экономической стороны проблемы я столкнулся впервые, до этого были только туманные рассуждения о том, сколько стоит очистка воды, а тут нужны конкретные цифры, выраженные в евро. На поиск таких данных был командирован Бартош, который умело справился с заданием. Оказалось, что в Польше есть несколько готовых проектов очистных сооружений на заданные мощности. Правда, ни один проект не соответствовал тому, что требовалось для р. Варты, но заказывать новый проект было настолько дорого, что от этого пришлось сразу отказаться

ся. В результате функция стоимости очистных сооружений из гладкой возрастающей кривой в теоретических построениях превратилась в ломаную линию.

При оптимизации модели, то есть при нахождении таких вариантов расположения и мощностей очистных сооружений, при которых достигается требуемое качество воды в реке Варта, выяснилось, что решение имеет локальные максимумы. Это происходило в тех случаях, когда требуемые мощности очистных сооружений согласовывались с уже готовыми проектами.

Мы с Бартошем сочинили отчет с картинками и графиками и сдали его заказчикам в срок [Меншуткин, 2010, с. 215–221]. Результаты удовлетворили заказчиков, а существо дела и устройство модели их не интересовало. Дали Брюссель деньги на очистку реки Варты или нет, я так и не узнал, поскольку Международный экологический центр прекратил свое существование. Его переименовали в Региональный центр и перевели в Лодзь. Иностранцы вроде меня там были больше не нужны, и я вернулся в Санкт-Петербург.

Приведенных примеров из личной практики научных исследований достаточно для того, чтобы в общем виде представить схему научного исследования в современных условиях компьютеризации и развития методов искусственного интеллекта (рис. 2).

Согласно этой схеме выполнялись описанные выше работы. Действительно, во всех случаях фигурировали исходные данные и их первичная статистическая обработка. В примерах с озером Дальним на Камчатке, рекой Вартой и Невской губой базы данных фигурировали в виде самостоятельных элементов. В задаче моделирования эволюции позвоночных животных база знаний, по существу, представляла собой предельно сжатый и закодированный учебник по зоологии. Выбор типа модели диктовался особенностями объекта исследования. Для рыб и Невской губы это были системы дифференциальных уравнений, для реки Варты – уравнения в конечных разностях, для вертикальных миграций зоопланктона – аппарат случайных функций.

Для выполнения процедуры идентификации модели применялись данные, которые не использовались при построении модели. Критерий оценки состояния управляемого объекта выбирался исходя из специфики поставленной задачи. Для популяций рыб это был устойчивый вылов, для Невской губы и реки Варты – качество воды, для эволюции – выход животных на сушу. При переходе к исследованию динамики эколого-экономических систем в качестве

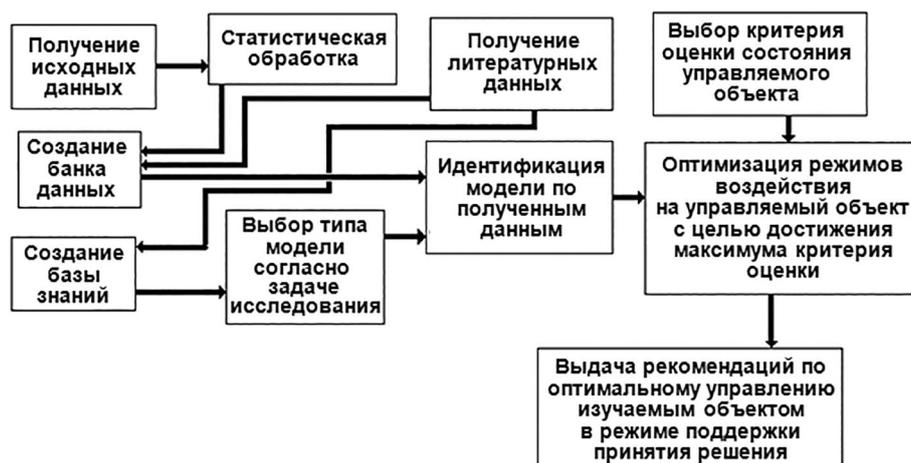


Рис. 2. Схема исследования объекта с применением компьютерных технологий и элементов искусственного интеллекта

Fig. 2. Scheme of the object study with the use of computer technologies and elements of artificial intelligence

критерия управления может выступать уровень жизни населения [Меншуткин, Филатов, 2019].

В поиске оптимальных значений входных переменных для достижения максимума критерия управления разработаны многочисленные стандартные алгоритмы, которые использовались для выявления наилучших режимов рыболовства. В задаче о качестве воды в реке Варте функция полезности системы оказалась со многими локальными экстремумами из-за дискретности в параметрах проектов очистных сооружений. Поэтому в данном случае пришлось прибегнуть к генетическому алгоритму.

Применение вычислительной техники изменило подход к решению экологических проблем не только количественно, но и качественно, что видно из сравнения рисунков 1 и 2. Если в докомпьютерный период научное исследование ограничивалось в основном констатацией фактов и общими соображениями, то современная компьютеризация позволяет поставить вопрос о нахождении оптимального варианта взаимодействия человеческого общества и биосферы в свете парадигмы устойчивого развития.

Работа выполнена по теме НИР ИПРЭ РАН № АААА-А19-119021390164-1.

References

- Krogius F. V., Krokhin E. M., Menshutkin V. V. Soobshchestvo ryb ozera Dal'nego (Kamchatka) (Opyt kiberneticheskogo modelirovaniya) [Fish community in Lake Dalnee (Kamchatka) (experience in cybernetic modeling)]. Leningrad: Nauka, 1969. 86 p.
- Menshutkin V. V. Iskusstvo modelirovaniya (ekologiya, fiziologiya, evolyutsiya) [The art of modeling (ecology, physiology, and evolution)]. Petrozavodsk-St. Petersburg: KarRC RAS, 2010. 414 p.
- Menshutkin V. V. (red.) Nevskaya guba – opyt modelirovaniya [The Neva Bay: modeling experience]. St. Petersburg, 1997. 376 p.
- Menshutkin V. V. Okeanskije ekspeditsii Akademii nauk. Dnevnik i zametki uchastnika [Ocean expeditions of the Academy of Sciences. Diary and notes of the participant]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2018. 288 p.
- Menshutkin V. V. Opyt imitatsii evolyucionnogo protsessa na vychislitel'noy mashine // Zhurnal evolyucionnoy biokhimi i fiziologii. 1977. T. 15. S. 515–555.
- Menshutkin V. V. Put' k modelirovaniyu v ekologii. SPb.: Nestor-Istoriya, 2007. 394 s.
- Menshutkin V. V. Teploobmen cherez ledyanoy pirov Yuzhnogo Байкала // Труды ЛИИ. 1964. Т. 5(25). С. 162–175.
- Menshutkin V. V., Filatov N. N. Kognitivnoe modelirovaniye vliyaniya rybolovstva na uroven' zhizni naseleniya Belomorya // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 9. С. 145–154. doi: 10.17076/lim1120
- Moskalenko Yu. E. Dinamika krovnapolneniya golovnoy mozga pri peregruzkakh. L.: Nauka, 1967. 128 s.

Литература

- Krogius F. V., Krokhin E. M., Menshutkin V. V. Soobshchestvo ryb ozera Dal'nego (Kamchatka) (Opyt kiberneticheskogo modelirovaniya). L.: Nauka, 1969. 86 s.
- Menshutkin V. V. Iskusstvo modelirovaniya (ekologiya, fiziologiya, evolyutsiya). Petrozavodsk-SPb.: KarNЦ РАН, 2010. 414 s.
- Menshutkin V. V. (red.) Nevskaya guba – opyt modelirovaniya. SPb.: SPbNЦ РАН, 1997. 376 s.
- Menshutkin V. V. Okeanskije ekspeditsii Akademii nauk. Dnevnik i zametki uchastnika. SPb.: Nestor-Istoriya, 2018. 288 s.
- Menshutkin V. V. Opyt imitatsii evolyucionnogo protsessa na vychislitel'noy mashine // Zhurnal evolyucionnoy biokhimi i fiziologii. 1977. T. 15. S. 515–555.
- Menshutkin V. V. Put' k modelirovaniyu v ekologii. SPb.: Nestor-Istoriya, 2007. 394 s.
- Menshutkin V. V. Teploobmen cherez ledyanoy pirov Yuzhnogo Байкала // Труды ЛИИ. 1964. Т. 5(25). С. 162–175.
- Menshutkin V. V., Filatov N. N. Kognitivnoe modelirovaniye vliyaniya rybolovstva na uroven' zhizni naseleniya Belomorya // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 9. С. 145–154. doi: 10.17076/lim1120
- Moskalenko Yu. E. Dinamika krovnapolneniya golovnoy mozga pri peregruzkakh. L.: Nauka, 1967. 128 s.

Поступила в редакцию 23.03.2021

tions of the Academy of Sciences. Diaries and notes of a member]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2018. 288 p.

Menshutkin V. V. Opyt imitatsii evolyutsionnogo protsessa na vychislitel'noi mashine [Experience in simulating the evolutionary process on a computer]. *Zhurn. evolyutsionnoi biokhim. i fiziol.* [J. Evolutionary Biochem. and Physiol.]. 1977. Vol. 15. P. 515–555.

Menshutkin V. V. Put' k modelirovaniyu v ekologii [A way to modeling in ecology]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2007. 394 p.

Menshutkin V. V. Teploobmen cherez ledyanoi pokrov Yuzhnogo Baikala [Heat transfer through the ice

sheet of South Baikal]. *Trudy LIN* [Proceed. Limnol. Inst.]. 1964. Vol. 5(25). P. 162–175.

Menshutkin V. V., Filatov N. N. Kognitivnoe modelirovanie vliyaniya rybolovstva na uroven' zhizni naseleniya Belomor'ya [Cognitive modeling of the fisheries effect on the standard of living in the White Sea area]. *Trudy KarNTs RAN* [Transactions of KarRC RAS]. 2019. No. 9. P. 145–154. doi: 10.17076/lim1120

Moskalenko Yu. E. Dinamika krovenapolneniya golovnogo mozga pri peregruzkakh [Dynamics of blood circulation in the brain during overload]. Leningrad: Nauka, 1967. 128 p.

Received March 23, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Меншуткин Владимир Васильевич

главный научный сотрудник, д. б. н., проф.
Институт проблем региональной экономики РАН
ул. Серпуховская, 38, Санкт-Петербург, Россия, 190013
эл. почта: menshutkina.n@gmail.com

CONTRIBUTOR:

Menshutkin, Vladimir

Institute for Problems of Regional Economics, Russian
Academy of Sciences
38 Serpukhovskaya St., 190013 St. Petersburg, Russia
e-mail: menshutkina.n@gmail.com