

## ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ, РОЛЬ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ НАУКИ ОБ ОЗЕРАХ – ЛИМНОЛОГИИ

Н. Н. Филатов\*, В. В. Меншуткин\*\*

\* *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

\*\* *Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН*

### НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ РОССИИ

На протяжении всей своей истории человечество пережило не один экологический кризис, за «победу» над которыми пришлось заплатить огромную цену. В связи с этим возрастает роль науки, задача которой – предвидеть возможные катаклизмы и благодаря изменению технологий, образа жизни создавать новые условия для нормального существования человека (Филатов, 2001). Альтернативой печальному сценарию развития цивилизации должно быть разумное развитие общества в планетарном масштабе и создание ноосферы, учение о которой разработал замечательный русский ученый, философ Владимир Иванович Вернадский (1944). Критерием национального и индивидуального богатства должны стать в первую очередь духовные ценности и знания людей, живущих в гармонии с природой. С начала XXI в. человечество стоит перед беспрецедентной проблемой выбора стратегии своего выживания (Кондратьев, Москаленко, 1987). Стратегия касается всех сфер жизнедеятельности – экономики, науки, образования, культуры, формирования нравственности. Ярким свидетельством отнюдь не устойчивого развития цивилизации на современном этапе является современный глобальный экономический кризис. Концепция устойчивого развития исходит из того, что экономическое развитие преимущественно за счет природной среды и в ущерб ей недопустимо; чрезвычайное обогащение одних путем ограбления других на международном уровне и внутри стран чревато угрожающим цивилизации глобальным социальным взрывом; потребление, как промышленное, так и личное, с учетом ограниченности ресурсов планеты должно быть разумно рационализировано (Коптюг, 1996).

Говоря об устойчивом развитии, адаптации биосферы и человека к ноосфере, сегодняшние прогрессивные политические и духовные лидеры приходят к выводу о необходимости новой концепции XXI в. Основанная на научном знании, она должна учитывать национальные традиции и культуру, состояние экономики и государственные интересы, но в основу ее, конечно, будут заложены общие принципы хозяйствования и жизни, учитывающие интересы стран и человечества в целом, формирование геополитических полюсов с довольно разными системами жизненных ценностей. Между такими полюсами и странами, объединяющимися в рамках каждого полюса, неизбежно неравенство стартовых потенциальных возможностей перехода на путь устойчивого развития. Наивно было бы полагать, что движение человечества к устойчивому развитию будет далее бесконфликтным. Напротив, сегодняшнее время – это период острейшей борьбы на мировой арене за ресурсы и в первую очередь – за углеводородное топливо (пример – Ирак, а возможно, и Иран, судя по высказываниям некоторых деятелей США), а в ближайшие десятилетия – за воду, экологический резерв (Киотский протокол) и интеллектуальный потенциал (приток научных сил из многих стран, в том числе и из России, в США). Поэтому важно понимать мировые тенденции развития процесса глобализации, которые помогут России определить стратегию развития, национальные интересы и возможности формирования более устойчивого многополюсного мира. В процессе глобализации все меньшее влияние имеют национальные государства в своих границах, все большей глобализации подвергаются ресурсы. Потребность в новой концепции развития человечества назрела давно, так как для нынешнего сугубо рационального подхода к основополагающим проблемам бытия, насильственно

насаждаемого во многих странах, характерно уничижительное отношение к другим культурам, религиям, отрицание ценности традиций природопользования, выработанных разными цивилизациями. Основное беспокойство вызывает внедряемый ныне повсеместно так называемый «экономизм». Ничем не ограниченный экономизм, спекуляции на биржах, валютном рынке и привели к современному экономическому кризису в мире. При всей своей притягательной силе «экономизм» грешит вульгарным, примитивным отношением ко многим вещам. По мнению известного русского философа С. Н. Булгакова, «экономизм» утверждает хозяйственную природу всей культуры, творчества, ищет хозяйственные подосновы в высших духовных проявлениях жизни. В мире начинают осознавать опасность такого пути. В особенности это стало очевидным после экономического кризиса, который продолжается до сих пор. На усиление регулирующей роли государства в банковской сфере обращали внимание на разных экономических и политических форумах в 2009 г. многие ведущие лидеры разных стран (США, Франции, Германии, России). Серьезной угрозой цивилизации представляются попытки всеобъемлющего технократического использования окружающей среды. В сочетании с весьма распространенной идеей акционирования они ведут к еще большему упрочению привилегированных групп (олигархов) и корпораций, претендующих на обладание особым знанием и экономическими ресурсами стран. При таком раскладе можно с уверенностью предсказать наступление эпохи нового тоталитаризма, упакованного в глобализацию.

Как же направить ситуацию в интересах народов России? Выход видится один: продолжить работу над государственной программой развития страны, в которой приоритеты будут отданы науке и образованию, как это делает сейчас Президент США Барак Обама, а также воспитанию нравственности и духовности (Скрипник, 2000).

## РОЛЬ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

Насколько востребована наука в России? Каковы перспективы науки и образования в нашей стране? Перед современной Россией на первый план выходят проблемы безопасности: информационной, экономической, окружающей среды. Не будет перспективы развития страны без государственной программы развития науки и образования, рассчитанной на десятилетия. Современные реформы образования и науки с нашей точки зрения не способствуют прогрессу науки и образования в России, а значит, отдалают про-

цесс модернизации нашей экономики. Главным ресурсом должны стать не столько новые промышленные технологии или пропагандируемые как что-то самое передовое нанотехнологии, «инновации» (при этом заметим, что для них всегда первичны будут новые фундаментальные знания), сколько научный потенциал государства, личности, что предполагает повышение внимания к вкладу в человеческие ресурсы, т. е. в совершенствование систем образования, науки, воспитания личности и развития культуры.

Среди наиболее крупных и важных научных и инновационных областей на ближайшее время ученые называют биохимию, генетику, информатику, здравоохранение, познание важнейших механизмов формирования изменений климата и их воздействия на ресурсы, в том числе и на водные, а также основанные на научном знании стратегические разработки рационального использования окружающей среды, ресурсов (Данилов-Данильян и др., 2005; The Skeptical..., 2002). Каждое из перечисленных направлений характеризуется растущей интенсивностью научных исследований в государственном и частном секторах разных стран, высокой степенью «всечеловечности» и востребованности реализуемых проектов, глубокими социальными последствиями в результате их внедрения. Большое значение ученые придают также дальнейшему развитию математического и компьютерного моделирования. На этой основе разрабатываются новые системы техники и вооружений, а также гражданских технологий, в том числе по экономической и социальной динамике (Меншуткин, 2010).

В XXI в. стало еще более очевидно, что уровень развития научно-технической сферы – науки, образования, наукоемких отраслей – определяет границы между богатыми и бедными странами, создает основу экономического роста. Развитие России должно быть связано не с грандиозными проектами демонстрационного характера в виде «большого скачка» (их неэффективность была продемонстрирована в свое время в Китае), а с долгосрочной кропотливой работой по укреплению всех звеньев в управлении, производстве и информационной сфере, как это происходит в современном Китае. Безусловно, наиболее продуктивен системный подход к решению грандиозной задачи развития России, однако в условиях определенного дефицита ресурсов (временных, финансовых, человеческих и др.), слишком большой концентрации природных и финансовых ресурсов в руках олигархического капитала это делает решение крупных государственных задач менее управляемым, возможным выходом из создав-

шегося положения является реализация приоритетных направлений (так называемые «национальные проекты»). Развитие науки, образования, культуры, систем управления должно способствовать созданию в России целостного, гармоничного общества, впитавшего весь накопленный народом социальный и духовный опыт.

#### ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА

Энергоемкость нашего производства существенно выше, чем в Европе, юго-восточной Азии и Америке (хотя там в условиях более жаркого климата приходится тратить ресурсы не на нагревание, а на охлаждение, но по оценкам затраты на создание более комфортных условий жизнедеятельности в России существенно больше, чем в богатых странах). На важность решения этой проблемы для России недавно обратил внимание Президент страны Д. Медведев. Для устойчивого развития государства требуется изменить и его экономику. По расчетам экономистов Российской академии наук (академик Д. С. Львов), только 5% процентов доходов России составляет труд, 20% – капитал, а 75% – природно-ресурсная рента, которая была приватизирована группой лиц, а должна быть общенациональным достоянием. Мы нуждаемся в политике, которая предоставит равные возможности субъектам Российской Федерации, в то время как сейчас по валовому национальному продукту, инвестициям, доходам регионы несопоставимы. И в этом плане Европейское сообщество (ЕС) в большей степени можно считать единой страной, чем Российскую Федерацию (академик Д. С. Львов). По мнению уже упоминавшегося В. И. Скрипника (2000), у нас должна сложиться двухполюсная социально-экономическая система управления обществом, включающая в себя капитал и социально ориентированную экономику вместе с государственными, так называемыми естественными монополиями.

#### ПУТИ РАЗВИТИЯ НАУКИ (на примере лимнологии) (подраздел подготовлен на основе книги В. В. Меншуткина «Искусство моделирования», 2010)

Лимнология – относительно молодая наука, насчитывающая немного более века своей истории. Попытаемся смоделировать развитие науки на примере лимнологии. Используем наукометрический анализ, который основан на базе обширной библиографии, приведенной в книге В. В. Меншуткина (2010).

Основой предлагаемой модели развития науки является понятие о меме как о единице научной информации (Dawkins, 1976). Под мемами будем понимать обучающие информационные сообщения конечной протяженности, создаваемые одними разумными субъектами для передачи другим разумным субъектам. Можно сказать, что мемы – это обучающие сообщения, создаваемые с целью передать их другим (Levchenko, 1994). Конкретное выделение мемов информации в лимнологии – дело достаточно субъективное, однако возможно разбиение всего множества лимнологических знаний на 75 дискретных единиц – мемов ( $m_i$ ), как это представлено на рис. 1. Например,  $m_1$  – «режим изменения уровня воды в озере» – представляет собой совокупность сведений об изменении уровня воды в различных озерах в течение времени, а  $m_{14}$  – «видовой состав макрофитов» – содержит в себе списки видов высших водных растений, обитающих в озере. В качестве отдельных мемов выделены, например, такие ключевые понятия лимнологии, как тепловой баланс озера ( $m_{28}$ ) или представление о первичной продукции ( $m_{18}$ ). Каждый подобный мем – это не только набор фактических данных, но и определение новых понятий и методов их определения (Алимов, 2000). Подробное рассмотрение каждого мема с литературными ссылками невозможно в рамках небольшой статьи. Отметим только, что некоторые мемы, представленные на рис. 1, только еще начинают формироваться – например, «оптимальное управление природными ресурсами озера» ( $m_{63}$ ) или «юридическое обеспечение охраны и эксплуатации ресурсов озер» ( $m_{73}$ ). Мемы, составляющие совокупность лимнологических знаний, связаны между собой. Разработка одного мема не может быть выполнена без знания некоторых других мемов. Например, составление водного баланса озера ( $m_{27}$ ) предусматривает знание уровня режима ( $m_1$ ). Построение математической модели популяции рыб ( $m_{40}$ ) невозможно без элементарных ихтиологических знаний ( $m_9$ ). Разработка идеи биоманипуляции ( $m_{51}$ ) предусматривает доскональное знание взаимодействия фито- и зоопланктона ( $m_{46}$ ). Совокупность множества мемов ( $M$ ) и связей между ними (множество дуг –  $S$ ) составляет ориентированный граф  $\Gamma (M, S)$ . Естественное требование к конструкции этого графа – это отсутствие замкнутых циклов. Вершины графа  $\Gamma (M, S)$ , которые не имеют заходящих в них дуг, соответствуют первичным мемам лимнологии, т. е. таким, которые были известны в самом конце XIX в., во время опубликования монографии Ф. А. Фореля (1912).



генетическим термином «геном» можно назвать «мемонем» данного ученого ( $\mu_j \in L$ ). В начале научной карьеры, которая приурочена в модели к возрасту 25 лет, мемон данного ученого является пустым множеством, которое может заполняться уже существующими в лимнологии мемами в процессе обучения и передачи научной информации.

Процесс научного творчества моделируется, согласно L. Lagrendre (2004), как добавление к уже существующему в лимнологии множеству мемов некоторого нового из множества возможных. С некоторой вероятностью ( $p$ ) каждый ученый может разработать новый мем лимнологической информации. Первый вариант имитирует метод «проб и ошибок». Новый мем выбирается с помощью датчика случайных чисел. После такого выбора «открытие» проходит проверку на осуществимость. Первый этап отбора заключается в установлении технической осуществимости. Например, открытие мема  $m_{57}$  – «трехмерная гидродинамическая модель озера» – невозможно осуществить не только без знания режима течений и термике озера, но и ранее 1950–1960-х гг., поскольку для реализации такой модели необходимы достаточно мощные вычислительные средства, которых не было до этого времени. Аналогично, создание схемы потоков энергии в озерной экосистеме (мем  $m_{33}$ ) невозможно, если в лимнологии не разработана концепция первичной продукции (мем  $m_{18}$ ) и концепция трофических уровней (мем  $m_{16}$ ).

Следующий этап отсеивания намечающегося открытия заключается в проверке того, имеются ли в научном багаже (мемоне) данного ученого необходимые знания для осуществления открытия. Иными словами, в мемоне открывателя должны уже находиться все те мемы, исходящие из которых дуги графа  $\Gamma$  ( $M, S$ ) заходят в предлагаемый к открытию новый мем. Только после прохождения этих проверок открытие полагается совершившимся, и новый мем включается в множество лимнологических знаний и личный мемон открывателя. Описанный процесс напоминает процесс естественного отбора в модели дарвиновской эволюции со случайными мутациями.

В процессе моделирования развития науки моделируется и творческий процесс, в частности, имитация научной интуиции (Lagrendre, 2004). Исследователь на основании собственных знаний пытается экстраполировать их в неизвестную область науки. В модели учитывается ограниченность продолжительности жизни ученых. Введение вероятности смерти ученых в возрасте от 40 до 70 лет позволяет имитиро-

вать изменение продолжительности их жизни, причем считается, что мемоны умерших ученых бесследно исчезают.

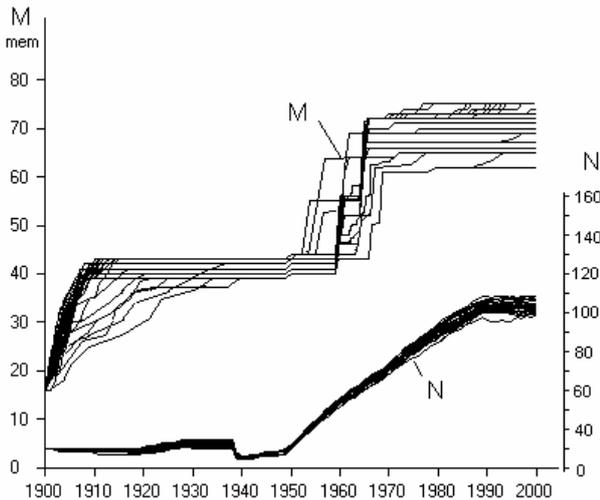
Модель исследовалась во временном диапазоне от 1900 до 2000 г. Начальное состояние образовали 20 лимнологов в возрасте от 25 до 50 лет с научным багажом в 16 мемов, что соответствовало уровню знаний в начале XX в. Начальные знания заключались в уже разработанной систематике гидробионтов, первичных описательных знаниях по гидрологии и гидрохимии озер.

Общей характерной чертой всех исследованных реализаций была неравномерность во времени процесса развития лимнологии. Первые десятилетия XX в. характеризовались быстрым накоплением информации, а затем наступил период некоторого застоя, который сменился новым информационным взрывом 60–70-х гг. В конце века развитие лимнологических знаний снова несколько замедлилось. Такая неравномерность связана не только с замедлением притока в лимнологию новых кадров во время мировых войн (что учтено в модели), но и со структурой самой науки. Контрольный компьютерный эксперимент с равномерным в течение всего века притоком молодых ученых и постоянной (в среднем) продолжительностью их жизни качественно не изменили неравномерности процесса развития лимнологии.

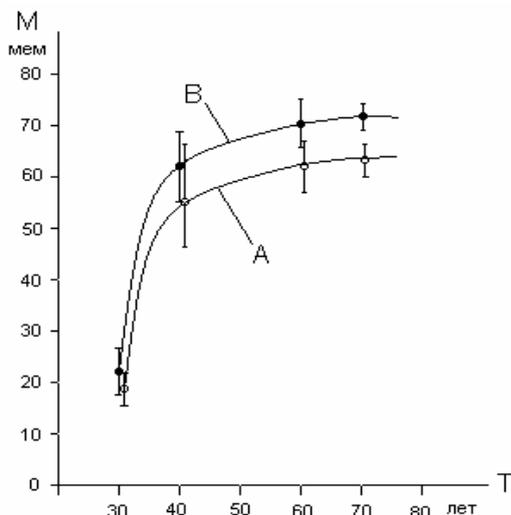
Сокращение продолжительности периода творческой активности исследователей существенно затормозило бы развитие науки при сохранении величины вероятности научного открытия. Если бы лимнологи перестали делать открытия в 30-летнем возрасте, то при прочих равных условиях лимнология через 20 лет после начала работы находилась бы на уровне исследований начала XX в. (Hutchinson, 1957), а идея продукции только-только начала бы распространяться. Увеличение возраста ученых за 60 лет при сохранении творческой активности уже не оказывает существенного влияния на развитие науки.

Зависимость уровня развития лимнологии к 2000 г. от величины вероятности научного открытия (рис. 2 и 3) достаточно очевидна: чем больше эта вероятность, тем быстрее развивается наука. Однако зависимость эта не линейна: высокие значения вероятности научного открытия становятся все менее эффективными. Небольшая группа гениальных ученых начала XX в. в принципе не смогла бы довести уровень информационной емкости лимнологии до 70–75 мемов в силу временных ограничений, заложенных в модели. Этот эффект проверен в ходе компьютерных экспериментов с моде-

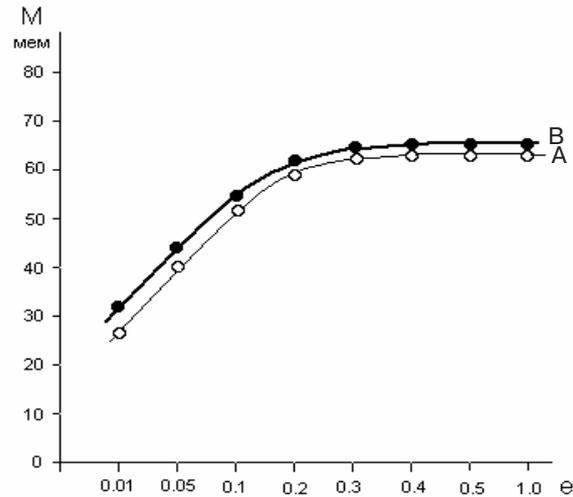
лю. На эффективность научных исследований оказывает влияние и сам стиль научной работы. При создании модели процесса развития лимнологии были приняты две гипотезы научного творчества – метод «проб и ошибок» и метод научной интуиции. Оказалось, что во всех случаях метод научной интуиции дает лучшие результаты, чем метод «проб и ошибок», при прочих равных условиях.



Р и с . 2. Изменение информационного содержания лимнологии (M в мемах) и численности ученых лимнологов (N). Приведены результаты 30 реализаций случайного процесса. Вероятность научного открытия  $p = 0,02$  в год на одного ученого. Интенсивность обучения и обмена научной информацией  $e = 0,01$  на ученого в год. Принята гипотеза о направленном научном поиске



Р и с . 3. Зависимость информационного содержания лимнологии через 20 лет после начала работы (M в мемах) от продолжительности жизни ученых (T в годах): А – гипотеза о применении метода «проб и ошибок», В – гипотеза о направленном научном поиске



Р и с . 4. Зависимость информационного содержания лимнологии (M в мемах) от интенсивности обучения и научного обмена (e) в мемах на одного ученого в год: А – гипотеза о применении метода «проб и ошибок», В – гипотеза о направленном научном поиске

Исследование модели показало решающую роль обучения молодых ученых и обмена научной информацией в деле развития науки (рис. 4). При низких параметрах обучения развитие лимнологии ограничивалось вкладом первого поколения лимнологов, а все последующие поколения, несмотря на свою многочисленность и высокую научную активность (вероятность  $p$ ), оказывались научно бесплодными. Только после повышения параметра обучения и научного обмена выше некоторой критической величины (около  $e = 0,2$  мема на ученого в год) модель выходила на плато, и процесс развития науки начинал регулироваться другими параметрами. Как и в случае с зависимостью развития лимнологии от вероятности научного открытия, в данном примере гипотеза о научной интуиции давала несколько более высокие темпы развития науки, чем гипотеза «проб и ошибок».

Принятое в настоящей модели выделение таких единиц научной информации, как мемы, достаточно условно. Всякий участник развития науки знает, что новое в науке не рождается ни мгновенно, ни даже за один год. Например, внедрение в лимнологию понятия продукции (Винберг, 1960) заняло больше десятилетия. Схему трофической типологии озер А. Тинемана и Э. Наумана (Форель, 1912) продолжают совершенствовать, критиковать и обсуждать с момента ее появления и до настоящего времени (Китаев, 2007).

**Таким образом, резюмируя сказанное, подчеркнем, что устойчивое развитие государства будет определяться в первую очередь уровнем развития науки и образования.**

## ЛИТЕРАТУРА

**Алимов А. Ф.** Элементы теории функционирования водных экосистем. М.: Наука, 2000.

**Вернадский В. И.** Несколько слов о биосфере // Успехи современной биологии. 1944. № 18 (2). С. 113–120.

**Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С., Рейф И. Е.** Перед вызовом цивилизации. Взгляд из России. М.: ИНФА, 2005. 223 с.

**Китаев С. П.** Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

**Кондратьев К. Я., Москаленко Н. И.** Парниковый эффект атмосферы и климат. Метеорология и климатология. М., 1987. 205 с.

**Коптюг В. А.** Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России. 1996 г.

**Меншуткин В. В.** Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). Петрозаводск; СПб.: КарНЦ РАН, 2010. 419 с.

**Скрипник В. И.** Россия в XX веке. М.: ВИНТИ, 2000. 43 с.

**Филатов Н. Н.** Устойчивое развитие России – миф или реальность? // Север. 2001. № 4–6. С. 13–19.

**Форель Ф. А.** Руководство по озероведению (Общая лимнология). СПб., 1912. 196 с.

**Hutchinson G. E.** Treatise on Limnology. Vol. 1. N. Y: J. Willey, 1957. 1015 p.

**Lagrendre L.** Scientific research and discovery: process, consequences and practice // Excellence in ecology / O. Kinne (ed.). Internat. Ecology Institute Oldendorf. Germany. 2004. 235 p.

**Levchenko V. F.** What is Information in the View of Naturalist? (Some Biological and Evolutionary Aspects) // WESS-com (The Journal of the Washington Evolutionary Systems Society) (Washington). 1994. Vol. 4, N 1. P. 41–46.

**The Skeptical Environmentalist.** Bjorn Lomborg. Cambridge Univ. press. 2002. 600 p.

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT ISSUES, ROLE OF SCIENCE AND EDUCATION – EXAMPLE OF THE STUDY LAKES – LIMNOLOGY

National and individual wealth should be defined primarily through the spiritual values and knowledge of people living in harmony with the nature. Vivid evidence of the utter non-sustainability of current development of the civilization is the present-day global economic crisis.

How high is the demand for science in Russia today? What are the perspectives for science and education in our country? We believe ongoing reforms of education and science would not promote the progress of science and education in Russia and, hence, hinder the process of modernization of our economy. The scientific potential of the state and the individual should be transformed into the main resource, and this implies greater input in human resources, i.e. in improving the systems of education, science, personal upbringing and cultural development.

We attempt to model the development of science using limnology as the example. We employed the scientometric evaluation, which is based on the analysis of the vast bibliography provided at the end of the book (Menshutkin, 2010).

The baseline of the proposed science development model is the notion of the meme as a unit of scientific information (Dawkins, 1975). The process of scientific creativity is modeled after Lagrendre (2004) as an addition of some new meme from the set of possible ones to the set of memes already existing in limnology. The process resembles natural selection in the Darwin's model of evolution with random mutations. We also model the creativity process, namely simulate scientific intuition (Lagrendre, 2004). We prove that the small group of scientific geniuses of the early 20<sup>th</sup> century were in principle unable to raise the level of the information capacity of limnology to 70–75 memes by today because of individual time limitations – duration of active creative life. Investigation of the model has shown that the decisive factor in the development of science is training of young scientists and exchange of scientific information. Had the level of education and training been low, the development of limnology would have been limited to the contribution of the first generation of limnologists, and all further generations, no matter how numerous and how scientifically active they may be (probability  $p$ ), would have been scientifically futile. To summarize, let us stress that sustainable development of the nation would depend first and foremost on the level of scientific and cultural development.