

## БИОНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*А. Е. Воробьев, К. А. Воробьев*

*Российский университет дружбы народов,  
Москва, Российская Федерация*

Раскрыта принципиальная сущность природоподобных технологий в транспорте, экологии, архитектуре, энергетике и недропользовании. Показано, что эволюция человечества неизбежно приводит к появлению системного кризиса между биосферой и техносферой. Раскрыта сущность терминов «бионика», «биомиметика». Представлены основные этапы развития природоподобных технологий. Приведены примеры различных бионических устройств и технологий. Описаны устройства в виде искусственных «растений» и искусственных «листьев», позволяющих получать электрическую энергию и синтезировать необходимые химические соединения. Рассмотрены основные процессы, происходящие в живых организмах, на основе которых были выработаны главные принципы техногенного возобновления минеральных ресурсов: увеличение объемов техногенных руд и придание минеральным отходам легкоусвояемой формы.

**Ключевые слова:** биосфера, техносфера, бионика, биомиметика, природоподобные технологии.

**Для цитирования:** Воробьев А. Е., Воробьев К. А. Бионическое обоснование современных технологий // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2020. № 1 (69). С. 44–57. DOI: 10.24143/1812-9498-2020-1-44-57.

### Введение

«От животных мы путем подражания научились важнейшим делам. Мы ученики паука в ткацком и портняжном ремеслах, ученики ласточки в построении жилищ,» – говорил греческий философ Демокрит (460–370 гг. до н. э.).

В общем случае эволюция человечества предопределяется взаимоотношениями органического и неорганического мира, а также скоростью появления новых научных познаний, открытия и использования объективно существующих эффектов и явлений, с выводом из них отдельных законов и закономерностей, позволяющих осуществлять дальнейшее развитие науки и технологий. Особенно это актуально в настоящее время, на довольно критическом этапе взаимоотношений органического и неорганического мира [1]. Так, с внедрением всех существующих возможностей технологического уклада значительно повысилась производительность труда, что привело к кардинальному улучшению жизни человека, но при этом принципиально изменился дизайн среды его обитания и серьезно ухудшилось состояние окружающей среды, а также существенно увеличилось разнообразие видов, типов и параметров негативного воздействия на человека.

### Противоречия между биосферой и техносферой

Глобальным вызовом всему человеческому обществу является проблема техногенного загрязнения биосферы. Так, в последнее время Мировой океан неуклонно меняет свой химический состав (прежде всего из-за изменения температуры его вод), происходит изменение его первоначального значения рН: по оценкам экспертов, с середины XVIII по конец XX в. среднее значение рН поверхностного слоя Мирового океана понизилось с 8,179 до 8,104. К тому же в течение последних 30 лет Мировой океан в среднем со значением около  $0,4 \cdot 10^{22}$  Дж/год дополнительно аккумулирует техногенную энергию. Одновременно только за один год на планете исчезает 1,3 млн га леса, что приводит к сокращению в земной атмосфере 1,5 млрд т кислорода. Кроме того, ежегодно мировая промышленность производит  $5,16 \cdot 10^{12}$  т разнообразных отходов, которые поступают в окружающую среду [2–4]. Образующиеся объемы отходов техносферы в настоящее время по своим масштабам практически уже соизмеримы с планетарными потоками вещества и энер-

гии. Но подавляющая часть этих промышленных и бытовых отходов чужеродна биосфере, т. к. не имеет естественных организмов-редуцентов, а потому не всегда может включиться в планетарный биогеохимический круговорот атомов [5].

Причиной кризисной ситуации является выраженный антагонизм между эволюционно сложившейся биосферой и созданной за довольно короткий промежуток времени человеком техносферой [2, 3]. В ходе технического прогресса были созданы такие технологии, которые по своей сути являются довольно плохими копиями отдельных элементов биосферных процессов (причем вырванными из естественного природного контекста) [6].

Основная системная причина такого весьма существенного увеличения глобальных угроз для человечества (в том числе роста нестабильности земного климата) – это антропогенное превращение ранее «Зеленой» Земли в «Серую», что происходит вследствие прогрессирующей абиотизации и иссушения суши [7]. Так, понятие «Серая» Земля означает, в частности, что лесов на планете из-за вмешательства человека осталось не более 50 %, кроме того, к середине 1970-х гг. общая фитомасса суши уменьшилась на 41,5 %, а к началу XXI в. был пройден рубеж 50 % [7]. И если для «Зеленой» Земли на биогеохимический круговорот шло около 10 % радиационного баланса, то сейчас только 4 %, т. е. вне биологического круговорота выделяется  $6,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ , причем на лесные экосистемы приходится основная часть (до 75 %) запаса аккумулированного углерода в биосфере, но нужно понимать, что накопление углерода через фотосинтез действительно только в достаточно молодых бореальных лесах, т. к. этот процесс в среднем занимает 100 лет.

### Научно-практическое направление бионика

Для решения этих насущных и актуальных задач современности появилось несколько научно-практических направлений. Одним из них является *бионика* – прикладная наука о возможном применении в технических устройствах и технологических системах основных принципов организации структур, свойств и функций живых организмов. Впервые термин «бионика» появился в 1960 г., когда специалисты различных профилей, собравшиеся на симпозиум в Дайтоне (США), выдвинули лозунг «Живые прототипы – это ключ к новой технике». Концепция бионики отнюдь не нова: к примеру, еще 3 000 лет назад китайцы пытались перенять у насекомых способ изготовления искусственного шелка. Но только несколько лет назад ученые смогли проанализировать ДНК пауков и создать искусственный аналог шелковидной паутины – кевлар.

В англоязычной и переводной литературе вместо термина «бионика» чаще употребляется термин «биомиметика» (от др.-греч. βίος – жизнь, μίμησις – подражание) в значении «подход к созданию особых технологических устройств, при котором основная идея и базовые их элементы заимствуются из живой природы».

Президентом РФ В. В. Путиным на 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН было предложено внедрение принципиально новых *природоподобных технологий* (русскоязычный перевод термина «биомиметика»), которые не будут наносить урон окружающему миру, а станут существовать с ним в определенной гармонии (коэволюции, по терминологии академика Н. Моисеева) и позволят восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой [8].

Суть современных природоподобных технологий заключается в использовании основных принципов и закономерностей, заложенных биосферой и уже доказавших свою высокую эффективность на протяжении миллионлетней эволюции отдельных живых организмов и биосферы в целом.

Природоподобные технологии построены на копировании базовых принципов функционирования живых организмов и процессов, происходящих в живой природе, что позволяет человечеству перейти на более экономичное и безопасное потребление имеющихся природных ресурсов.

Необходимо выделять несколько этапов развития бионики (биомиметики, природоподобных технологий).

*Первый этап* – механическое копирование в технике объектов живой природы. По такому пути в своих изобретениях двигался итальянский ученый и инженер Леонардо да Винчи (1452–1519 гг.), создавший единичные образцы природоподобных устройств (рис. 1).

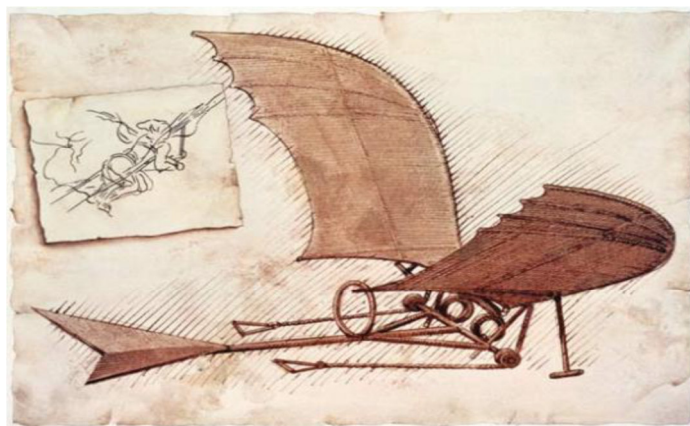


Рис. 1. Летательный аппарат, разработанный Леонардо да Винчи на основе крыльев птиц

Однако исторически самым первым решением таких природоподобных технологий было создание древними рыбаками рыболовных сетей по образцу паутины [9].

Китайца Чай-Луна считают изобретателем бумаги, которую он создал в 105 г. н. э., смешивая измельченный бамбук с водой. Эта идея пришла к нему после изучения строительства гнезд бумажными осами (рис. 2).



Рис. 2. Гнездо бумажных ос

Бумажные осы выбирают старое высохшее дерево, от коры которого они отрывают древесные волокна и мощными челюстями перетирают в порошок, который затем пережевывают, обволакивая слюной и отделяя при этом клетчатку. Так получается бумажная масса, необходимая для строительства осиног гнезда. При этом осы настолько искусно владеют технологией производства бумаги, что способны делать 5 ее вариантов – от тончайшего пергамента до плотного картона.

В XIX в. были разработаны всевозможные перекрытия зданий и сооружений. Они были изобретены и впервые применены для зданий выставочных павильонов Нижегородской ярмарки В. Шуховым в 1896 г. Такие перекрытия также копируют принципы и элементы ловчей паутины.

В 1897 г. у птиц были скопированы определенные элементы крыльев (рис. 3), служащие для снижения значения интенсивности концевго вихря, вызванного перетокком воздушного течения из области высокого давления в область пониженного давления, которые разделены плоскостью крыла [10], – подобное завершение крыльев самолетов, основанное на данном эффекте, было впервые предложено англичанином Фредериком Ланчестером [11].

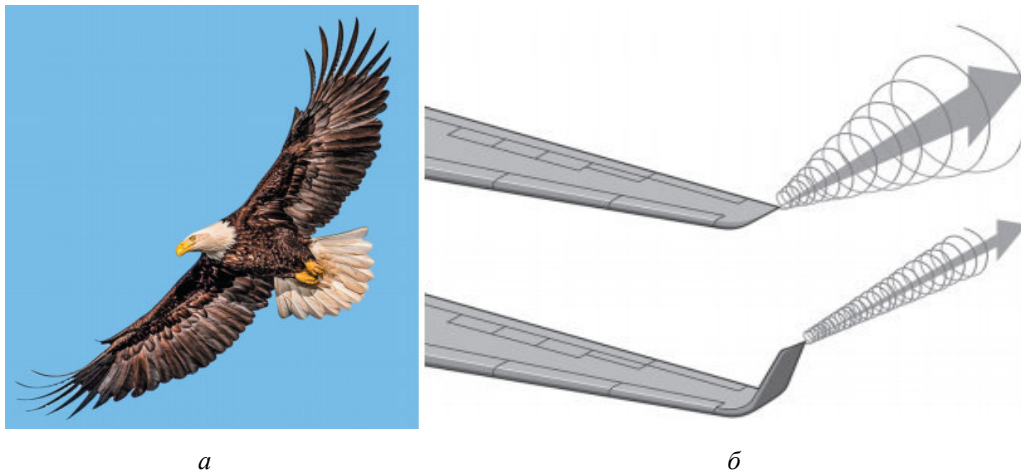


Рис. 3. Перья белоголового орла (а) и винглеты (вертикальные законцовки консоли крыла) самолета (б)

Военно-морская академия США предложила для подводных лодок устройство, скопированное у горбатого кита (рис. 4), имеющего необычную, в сравнении с другими представителями семейства полосатиковых китов, способность к резкому маневрированию при относительно малой гибкости тела.



Рис. 4. Наросты на передней кромке грудного плавника горбатого кита

Стрекоза, обладая подъемной силой втрое большей, чем у современного вертолета (рис. 5), способна, двигаясь на большой скорости, практически мгновенно зависать на одном месте в воздухе, а также передвигаться в боковом направлении или резко подаваться назад [12], что пока еще недоступно лучшим современным образцам авиационной техники.



Рис. 5. Стрекоза (а), природный аналог вертолета (б)

В качестве архитектурного примера использования бионики целесообразно привести здание Большого национального театра в Пекине, прототипом формы которого послужила перламутровая ракушка (рис. 6).



а

б












Рис. 6. Форма ракушки (а) и здания театра в Пекине (б)

Другие примеры механического использования некоторых элементов живой природы в различных технических решениях при строительстве зданий и сооружений (научно-практического направления, пока наиболее развитого с применением бионических принципов конструирования объектов техники) сведены в табл. 1.

Таблица 1

**Бионические принципы и биологические системы в архитектурной практике\***

Принцип	Биологическая система	Пример архитектурного объекта	
Конструктивные особенности живых организмов	Строение скелета		
	Структура стеблей		
	Конструкция листа дерева		
		Здание Всемирного торгового центра. Нью-Йорк, США	Телебашня. Гуанчжоу, Китай
		Небоскреб. Тайбэй, Тайвань	Элемент фасада здания онкоцентра. Ноттингем, Англия
		Велотрек в Крылатском. Москва, Россия	

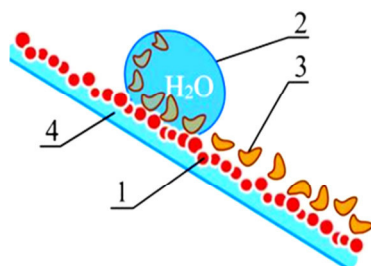
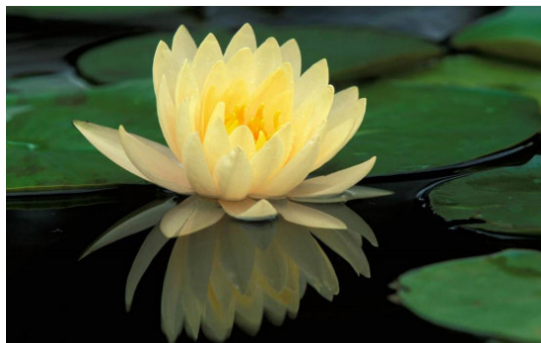
Принцип	Биологическая система	Пример архитектурного объекта	
Конструктивные особенности живых организмов	Конструкция ствола дерева		
		Бионическая башня «Лави». Абу-Даби, ОАЭ	Жилой дом. Чикаго, США
	Пористая поверхность кожи		
	Ракушки глубоководных моллюсков	Слоистые строительные конструкции	
Формы живой природы	Деревья, грибы		
		Метрополь Парасоль («Грибы Севильи»). Севилья, Испания	Энергостанции для ботанического сада. Сингапур
	Огурец		
		Небоскреб Мэри-экс. Лондон, Великобритания	Небоскреб. Барселона, Испания
	Дельфин		
	Город искусств и наук. Валенсия, Испания	Дом «Дельфин». Санкт-Петербург, Россия	
Бутоны цветов			
	Здание в виде цветка лотоса. Чанчжоу, Китай	Торговый дом «Роза». Новосибирск, Россия	

Принцип	Биологическая система	Пример архитектурного объекта	
Формы живой природы	Птичье крыло	 Здание аэровокзала. Лион, Франция	 Культурный район Саадият. Абу-Даби, ОАЭ
	Птичье гнездо	 Ферма «Гнездо аиста». Семтин, Чехия	 Национальный стадион. Пекин, Китай
Экологичность	Экологичные природные материалы: дерево, глина, солома	 Эко-дом из соломенных тюков	 Эко-дом. Португалия
	Фотосинтез зеленого листа	Кровля-мембрана, «дышащие» стены	
Комбинаторность	Чешуйки шишек	 Павильон Арагона. Сарагоса, Испания	 Жилое многоэтажное здание. Роттердам, Голландия
		 Модульный дом, меняющий свою форму в зависимости от погоды (концепция Майкла Джантзен, США)	 Иновационные капсулы Albang, замена палаткам (концепция Yoop space и Song ryoung, Южная Корея)
Мобильность	Регенерация		

\*Составлено по [13].

*Второй этап* представляет собой функциональное (математическое или программное) моделирование технических устройств и систем, осуществляемое на основе подобию живым организмам, которое заключается в изучении структурных схем существующих живых организмов, их числовых характеристик, а также их назначения и изменения во времени.

В качестве примера такого подхода целесообразно привести открытый в 1990 г. немецким биологом В. Бартлоттом «эффект лотоса». В ходе своего исследования профессор Бартлотт изучал под микроскопом структуру цветка лотоса, благодаря которой он всегда остается чистым (поэтому Будда Гаутама выбрал этот цветок за сохранение первозданной чистоты). Выяснилось, что поверхность этого цветка обладает множеством выступов («шипов»). В результате любая капля воды, попадая на такую поверхность, имеет весьма малую площадь соприкосновения с поверхностью лотоса и, скатываясь с нее (рис. 7), забирает с собой имеющееся загрязнение.



**Процесс лотос-эффекта:**  
 1 – нанопокрывтие;  
 2 – капля жидкости (воды);  
 3 – загрязнение;  
 4 – поверхность  
 (стекло, краска, керамика и т.д.)

Рис. 7. Эффект лотоса

В результате была разработана технология производства супергидрофобного материала, запатентованного как лотос-эффект.

Также в используемых подходах к бионическому конструированию учитывалось, что все живые растения постоянно испаряют влагу, поэтому перманентно нуждаются в подпитке новой влагой (водой), которая движется от их корней к листьям [14]. На этом природном эффекте группа ученых под руководством М. Махарбиза из Калифорнийского университета (США) разработала синтетические «листья», испаряющие, аналогично природным, воду со своей поверхности, вырабатывая при этом электричество. Эти синтетические «листья» (рис. 8) представляют собой стеклянные пластины, пронизанные системой многочисленных капилляров и электрических проводников.

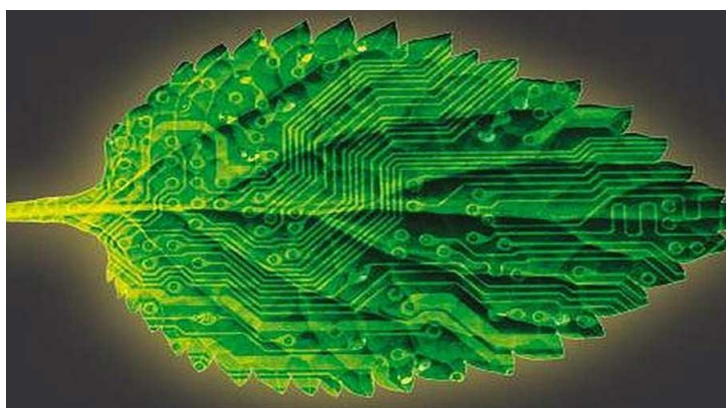


Рис. 8. Искусственный «лист»

Вода подается в центральную магистраль (аналог ствола растения) с постоянной скоростью 1,5 см/с. Оттуда вода через систему многочисленных капилляров поступает к «листьям» и в дальнейшем испаряется с их поверхности [14]. Поверхность «листьев» и вода образуют два проводящих электричество слоя по типу пластин конденсатора, где диэлектриком выступают крошечные пузырьки воздуха с испарившейся влагой. Эти пузырьки, двигаясь внутри такого «конденсатора», за счет различных электрических показателей воздуха и воды приводят к появлению



электрического заряда, генерируя, таким образом, электрическую энергию. Такой искусственный аналог растения может произвести от 2 до 5 мкВ электрического потенциала на одну ячейку [14], что соответствует уровню мощности 2 мкВт на 1 см<sup>3</sup> объема активной площади.

Кроме того, ученым удалось создать фотокаталитическую систему, которая под действием солнечного света производит синтез-газ из углекислого газа и воды [15]. Ранее этот продукт получали с помощью газификации угля, на основе технологического процесса, который причиняет значительный вред окружающей среде. На создание такого устройства исследователей подвигло явление фотосинтеза – естественного процесса, в ходе которого живые растения для превращения углекислого газа в углеводы используют энергию солнечного света. Созданное устройство состоит из нескольких слоев, каждый из которых имеет свое предназначение. Так, два внешних слоя, расположенных с обоих концов искусственного «листа», представляют собой светопоглотители, выполненные из галоидных перовскитов и ванадата висмута (BiVO<sub>4</sub>), соединенных с катализатором из кобальта [15]. Когда такое устройство погружено в воду, один его конец начинает производить водород, а другой при этом осуществляет химическую реакцию, которая превращает углекислый газ и воду в угарный газ и водород, образуя синтез-газ.

Еще одна команда исследователей из Иллинойского университета (Чикаго, США) представила свой новый технический дизайн такого искусственного «листа» [16], который позволяет точно и максимально эффективно вбирать в свою структуру углекислый газ, а затем на основе искусственного фотосинтеза конвертировать его в кислород и другие химические элементы, представляющие определенный промышленный интерес в качестве топлива. Такой искусственный «лист» представляет собой весьма точное повторение природного листа растений [16]: обладая довольно похожей конструкцией из сети полимерных семейств, он покрывается внешним защитным слоем из полупроницаемой мембраны, составленной преимущественно из четвертичной аммониевой смолы, которая и позволяет этому искусственному «листу» воспроизводить практически все свойства настоящего природного листа растения. Основная идея здесь заключается в том, что, когда солнечные лучи попадают на подобный искусственный «лист», вода из него медленно выпаривается через имеющиеся поры, а на ее место всасываются частички углекислого газа, который благодаря последующему процессу искусственного фотосинтеза конвертируется в монооксид углерода [16]. В дальнейшем получаемый монооксид углерода может быть использован в качестве топливного элемента или же опять разложен на жидкость и газ.

*Третий этап* развития бионических устройств состоит в использовании в технике и технологиях основных процессов, происходящих в живых объектах. Эти процессы в живых организмах заключаются:

– в использовании атомов и химических соединений из окружающей среды, а также солнечной энергии, в процессе осуществления своей жизнедеятельности. При этом биогенная мобилизация элементов живыми организмами осуществляется путем формирования замкнутых биогеохимических круговоротов химических элементов, движущей силой которых выступает энергия живого вещества [4]. Например, устойчивость функционирования всего газообмена на планете поддерживается не только анаболизмом зеленых растений, но также и катаболизмом сообщества почвенных бактерий;

– стремлении к росту объемов биомассы отдельного организма или популяции. Еще академик АН СССР В. И. Вернадский впервые обратил внимание на то, что живое вещество выполняет в биосфере различные целевые функции [4]. В частности, важнейшей функцией живого вещества является постоянное воспроизводство биомассы. Для этого растения-продуценты преобразуют энергию солнца, запасая ее в первичной фотосинтетической биомассе, и передают ее дальше по пищевым цепочкам к животным и микроорганизмам;

– преобразовании окружающей среды «под себя» (строительство бобрами плотин, ходов в почве при сооружении нор животными и некоторыми птицами, а также каналов дождевыми червями и т. д.);

– образовании отходов в количестве и форме, пригодных для жизнеобеспечения других живых организмов.

Кроме увеличения объемов синтеза первичной биомассы живое вещество, как правило, эволюционирует в сторону усложнения уровня своей организации и ускорения планетарных круговоротов химических элементов [5].

В реализации принципов этого весьма важного и перспективного для проектирования техники и технологий этапа существенное значение в техническом конструировании имеют так называемые *перцептроны* – «самообучающиеся» системы, выполняющие логические функции опознавания и классификации. Это может быть, например, явление гелиотропизма, когда живые растения (подсолнечники) в течение дня отслеживают движение солнца по небу. Такое их движение осуществляется при помощи специальных моторных клеток, находящихся в гибком основании цветка. Данные клетки являются ионными насосами, доставляющими ионы калия в близлежащие ткани растения. В результате из-за удлинения моторных клеток, расположенных на теневой стороне растения, этот сегмент (вследствие роста гидростатического внутреннего давления) изгибается. Явление гелиотропизма обычно вызывается в основном синей частью солнечного спектра. Также необходимо отметить, что зрелые цветки подсолнечника, получив направление на восток, далее больше не двигаются.

### Бионическая технология возобновления минеральных ресурсов

В разработанной в 1993 г. проф. А. Е. Воробьевым технологии возобновления минерального сырья [17, 18] взято за основу явление наращивания живыми организмами и их популяциями объемов своей биомассы. При реализации этой инновационной технологии недропользования за счет целенаправленного перераспределения полезных компонентов в массиве техногенных минеральных объектов (отвалов и хвостохранилищ) обеспечивается прирост объемов геомассы, относимой к балансовым рудам. Например, золото в техногенных минеральных объектах встречается в разных агрегатных состояниях и разных формах нахождения [19]. Наиболее хорошо изучена твердая фаза: свободное, связанное в минералах, в сростках, «пленочное» и сорбированное на минералах. Менее изучено золото в растворах: отвальных, рудничных и подрудных водах, рассолах и нефтях.

Техногеогенез золота в техногенных образованиях (разрушение, химическое растворение, перенос и аккумуляция) приводит к перераспределению металла [19] и в ряде случаев – к образованию зон его повышенной концентрации [17, 18].

Эта технология весьма актуальна, т. к. решает проблему значительных объемов минеральных отходов горных производств. Так, к 2016 г. в мире было добыто около 180 тыс. т золота. При этом в отвалах и хвостохранилищах было заскладировано до 600 млрд т геомассы, в которой содержится, по разным оценкам, от 10 до 40 % неизвлеченного золота со средним содержанием 0,2–0,5 г/т [1]. Для примера, среднее содержание золота в геогенных (природных) золото-порфировых месторождениях-гигантах, таких как Pebble Copper (Аляска, США), Bingham (Юта, США), Оуу Толгой (Монголия) составляет 0,35–0,5 г/т.

Также весьма важным представляется придание образуемым минеральным отходам горного производства форм и свойств, пригодных для использования в дальнейшем биосферой. Природным примером могут послужить процессы разрушения и переноса реками различных минералов, с последующим обогащением ими продуктивных почв долин и дельт при весенних разливах. Все реки земного шара только за один год в механически взвешенном и растворенном состоянии переносят около 17,5 млн т геовещества, образуемого за счет разрушения пород, вмещающих речное русло. Их измельчение описывается уравнением, основанным на пропорциональности изменения веса частицы горной породы произведению ее веса на протяженность речного участка перемещения [20]:

$$d_{sb,x} = d_{sb,0} \exp(-k_d x),$$

где  $d_{sb,0}$  и  $d_{sb,x}$  – средний диаметр частицы горной породы в начале и в конце речного участка длиной  $x$ ;  $k_d$  – коэффициент, зависящий от прочности горной породы.

Кроме того, речные воды не только разрушают горные породы, но и частично их выщелачивают и химическим образом преобразуют. Так, результаты математико-статистической обработки данных гидрологических станций показали, что на равнинах сток растворенных веществ наиболее сильно возрастает при переходе от низменностей и возвышенностей к равнинным рекам с истоком в горах (табл. 2).

Средние величины стока растворенных веществ на разных типах рельефа\*

Тип рельефа	Географический пояс			Средняя величина
	Умеренный	Субтропический	Тропический	
	Химическая денудация, т/км <sup>2</sup> ·год			
Низменность	39,0	32,5	38,6	37,3
Возвышенность	51,3	39,1	60,5	50,1
Исток в горах	99,0	57,9	64,0	62,3
Горы низкие	82,0	85,4	105,0	86,0
Горы средние	88,5	73,0	70,0	91,9
Горы высокие	124,5	91,9	97,3	99,8

\*Составлено по [21].

В среднем соотношение равнин и гор по химической денудации определяется как 1:1,6 [21]. По всей видимости, ведущими факторами, обуславливающими такое соотношение интенсивности химического разрушения равнинных и горных областей, являются более пестрый литологический состав последних и интенсивность водообмена, контролируемая величиной жидкого стока. При этом на протяженных руслах рек изменяется гидрохимический тип вод [21], а также снижается содержание преобладающих в ультрапресных водах высокогорий ионов кальция и гидрокарбонат-ионов.

Чем более длительный путь проходит вода по горным породам, тем выше ее минерализация [21]. Так, в Забайкалье наименее минерализованные воды гидрокарбонатного кальциевого состава распространены в приводораздельных, наиболее высоко поднятых частях горных хребтов, ниже располагается промежуточная зона пресных вод среднегорных структур, а еще ниже – гидрокарбонатно-сульфатные воды повышенной минерализации низкогорья и предгорных ландшафтов.

Такой подход позволит объектам горной промышленности (которые являются техногенными системами) вписаться в биосферные циклы живой природы.

### Заключение

Первоначально развитие техники и технологии шло по пути копирования объектов живой природы, что даже нашло отражение в древних мифах: Дедал смастерил для полетов крылья, подобные орлиным, а рыбацкая сеть обладала плетением, похожим на паучью паутину, бытовые ножи и боевые мечи являлись аналогами длинных и острых когтей и т. д. И только с появлением колеса (отсутствующего у объектов живой природы), а в дальнейшем – с использованием различных видов немускульной энергии эволюция человечества пошла по техногенному пути развития, который привел к системному кризису, выражающемуся в противоречии техносферы и биосферы. Для выхода из этого кризиса необходимо вновь вернуться к бионическим принципам построения техники и технологии, но уже не на основе механического подражания объектам живой природы, а на основе использования более фундаментальных закономерностей, позволяющего живым объектам эффективно существовать (функционировать) в зачастую изменяющихся и неблагоприятных условиях окружающей среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесовик В. С., Володченко А. А. Геоника (геомиметика). Теоретические основы природоподобных технологий // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование: сб. науч. тр. Междунар. научн.-техн. симп. «Вторые международные Косыгинские чтения». М.: Изд-во РГУ им. А. Н. Косыгина, 2019. С. 119–123.
2. Воробьев А. Е. Человек и биосфера. Основы взаимодействия, эволюции и самоорганизации / под ред. чл.-корр. РАН Л. А. Пучкова. М.: Изд-во МГГУ, 1998. 216 с.
3. Пучков Л. А., Воробьев А. Е. Человек и биосфера: вхождение в техносферу. М.: Изд-во МГГУ, 2000. 342 с.
4. Ткаченко Ю. Л. Какие технологии являются природоподобными? Новая тема для концептуальной дискуссии // Успехи современной науки. 2016. № 3. С. 101–107.
5. Перельман А. И. Геохимия биосферы. М.: Ленанд, 2017. 168 с.
6. Ковальчук М., Нарайкин О. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. № 3–4 (118–119). Т. 22. С. 103–108.

7. Авакян С. В. Проблемы климата как задача солнечно-земной физики // Солнечно-земная физика. 2012. № 21 (134). С. 18–27.
8. 70-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН. Выступление на пленарном заседании Президента России. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/50385> (дата обращения: 16.02.2020).
9. Гийо А., Мейе Ж. А. Бионика. Когда наука имитирует природу. М.: Техносфера, 2013. 293 с.
10. Дружинин А. А., Орлова Е. С., Волков А. В., Парыгин А. Г., Наумов А. В., Рыженков А. В., Вихлянцева А. А., Šoukal J., Sedlař M., Komárek M., Pochylý F., Rudolf P., Fialová S. Повышение эффективности малых и микрогидротурбин на основе применения природоподобных технологий для создания автономных источников энергии // Теплоэнергетика. 2019. № 12. С. 86–96.
11. Teschner T.-R. A comparative study between winglet and raked wingtip wing configurations: bachelor thesis. Hamburg University of Applied Sciences, 2012. 62 p.
12. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы. URL: <http://eisksschool11.ucoz.ru/inovacii/1.pdf> (дата обращения: 11.02.2020).
13. Сочнева Д. А. Бионические принципы в мировой архитектурной практике // Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования: сб. ст. по материалам XXXIV Междунар. студенч. науч.-практ. конф. Новосибирск: Изд-во АНС «СибАК», 2017. № 23 (34). Ч. 1. URL: [http://www.sibac.info/archive/science/23\(34\).pdf](http://www.sibac.info/archive/science/23(34).pdf) (дата обращения: 11.02.2020).
14. Искусственный фотосинтез в синтетических листьях позволяет производить электричество. URL: <https://dailytechinfo.org/news/439-iskusstvennyj-fotosintez-v-sinteticheskix-listyax.html> (дата обращения: 11.02.2020).
15. Andrei V., Reuillard B., Reissner E. Bias-free solar syngas production by integrating a molecular cobalt catalyst with perovskite–BiVO<sub>4</sub> tandems // Nature Materials. 2019. N. 2. P. 189–194.
16. Создан искусственный лист с возможностью фотосинтеза. URL: <https://fainaidea.com/nauka/materialy/sozdan-iskusstvennyj-list-s-vozmozhnostyu-fotosinteza-174344.html> (дата обращения: 16.02.2020).
17. Воробьев А. Е. Принципы создания ресурсовозобновляющих технологий / Деп. рук. № 27/9-68. М.: Изд-во МГИ, 1993. 15 с.
18. Воробьев А. Е. Ресурсовоспроизводящие технологии горных отраслей. М.: Изд-во МГГУ, 2001. 150 с.
19. Наумов В. А., Фиоруччи А., Голдырев В. В., Брюхов В. Н., Фетисов В. В. Научные основы управления геологическими процессами в техногенно-минеральных образованиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 9 (75). С. 89–92.
20. Савичев О. Г., Домаренко В. А., Перегудина Е. В., Лепокурова О. Е. Трансформация минерального состава донных отложений от истоков к устьям рек // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2018. № 7. С. 43–56.
21. Денмухаметов Р. Р. Влияние орографического фактора на сток растворенных веществ равнинных и горных рек мира // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 1–8.

Статья поступила в редакцию 15.04.2020

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Воробьев Александр Егорович** – Россия, 117198, Москва; Российский университет дружбы народов; д-р техн. наук, профессор; главный научный сотрудник института инновационных инженерных технологий; fogel\_al@mail.ru.

**Воробьев Кирилл Александрович** – Россия, 117198, Москва; Российский университет дружбы народов; студент, направление обучения «Нефтегазовое машиностроение»; k.vorobyev98@mail.ru.



### BIONIC SUBSTANTIATION OF MODERN TECHNOLOGIES

**A. E. Vorobyev, K. A. Vorobyev**

*People's Friendship University of Russia,  
Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The fundamental essence of nature-like technologies in transport, ecology, architecture, energy and subsoil use is disclosed. The evolution of mankind is shown to be leading to a crisis between the biosphere and the technosphere. The terms “bionicist”, “biomimetik” have been

given interpretation. The main stages of the development of nature-like technologies have been presented. There have been given examples of various bionic devices and technologies. Devices in the form of the artificial plants and artificial leaves allowing to receive electric energy and to synthesize necessary chemical compounds have been described in detail. There have been considered the main processes happening in live organisms, on the basis of which the general principles of technogenic renewal of mineral resources were developed: increase of technogeneous ores output and making mineral waste easily decomposing.

**Key words:** biosphere, technosphere, bionics, biomimetics, nature-like technologies.

**For citation:** Vorobev A. E., Vorobyev K. A. Bionic substantiation of modern technologies. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2020;1(69):44-57. (In Russ.) DOI: 10.24143/1812-9498-2020-1-44-57.

#### REFERENCES

1. Lesovik V. S., Volodchenko A. A. Geonika (geomimetika). Teoreticheskie osnovy prirodopodobnykh tekhnologii [Theoretical foundations of nature-like technologies]. *Energoresursoeffektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i oborudovanie: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo simpoziuma «Vtorye mezhdunarodnye Kosyginskie chteniia»*. Moscow, Izd-vo RGU im. A. N. Kosygina, 2019. Pp. 119-123.
2. Vorob'ev A. E. *Chelovek i biosfera. Osnovy vzaimodeistviia, evoliutsii i samoorganizatsii* [Man and biosphere. Fundamentals of interaction, evolution and self-organization]. Pod redaktsiei chl.-korr. RAN L. A. Puchkova. Moscow, Izd-vo MGGU, 1998. 216 p.
3. Puchkov L. A., Vorob'ev A. E. *Chelovek i biosfera: vkhozhenie v tekhnosferu* [Man and biosphere: entering technosphere]. Moscow, Izd-vo MGGU, 2000. 342 p.
4. Tkachenko Iu. L. Kakie tekhnologii iavliaiutsia prirodopodobnymi? Novaia tema dlia kontseptual'noi diskussii [What technologies are nature-friendly? New topic for conceptual discussion]. *Uspekhi sovremennoi nauki*, 2016, no. 3, pp. 101-107.
5. Perel'man A. I. *Geokhimiia biosfery* [Geochemistry of biosphere]. Moscow, Lenand Publ., 2017. 168 p.
6. Koval'chuk M., Naraikin O. Prirodopodobnye tekhnologii – novye vozmozhnosti i novye ugrozy [Nature-like technologies as new opportunities and new threats]. *Indeks bezopasnosti*, 2016, no. 3-4 (118-119), vol. 22, pp. 103-108.
7. Avakian S. V. Problemy klimata kak zadacha solnechno-zemnoi fiziki [Climate problems as task of solar-terrestrial physics]. *Solnechno-zemnaia fizika*, 2012, no. 21 (134), pp. 18-27.
8. 70-ia sessiia General'noi Assamblei OON. Vystuplenie na plenarnom zasedanii Prezidenta Rossii [70th session of UN General Assembly. Speech at plenary meeting of the President of Russia]. Available at: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/50385> (accessed: 16.02.2020).
9. Giio A., Meie Zh. A. *Bionika. Kogda nauka imitiruet prirodu* [Bionics. When science mimics nature]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2013. 293 p.
10. Druzhinin A. A., Orlova E. S., Volkov A. V., Parygin A. G., Naumov A. V., Ryzhenkov A. V., Vikhl'iantsev A. A., Šoukal J., Sedlař M., Komárek M., Pochylý F., Rudolf P., Fialová S. Povyshenie effektivnosti malykh i mikrogidroturbin na osnove primeneniia prirodopodobnykh tekhnologii dlia sozdaniia avtonomnykh istochnikov energii [Improving efficiency of small and microhydroturbines based on using nature-like technologies for creating autonomous energy sources]. *Teploenergetika*, 2019, no. 12, pp. 86-96.
11. Teschner T.-R. *A comparative study between winglet and raked wingtip wing configurations: Bachelor thesis*. Hamburg University of Applied Sciences, 2012. 62 p.
12. *Prirodopodobnye tekhnologii – novye vozmozhnosti i novye ugrozy* [Nature-like technologies as new opportunities and new threats]. Available at: <http://eiskschool11.ucoz.ru/inovacii/1.pdf> (accessed: 11.02.2020).
13. Sochneva D. A. Bionicheskie printsipy v mirovoi arkhitekturnoi praktike [Bionic principles in world architectural practice]. *Nauchnoe soobshchestvo studentov. Mezhdistsiplinarnye issledovaniia: sbornik statei po materialam XXXIV Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Novosibirsk, Izd-vo ANS «SibAK», 2017. N. 23 (34). Part 1. Available at: [http://www.sibac.info/archive/science/23\(34\).pdf](http://www.sibac.info/archive/science/23(34).pdf) (accessed: 11.02.2020).
14. *Iskusstvennyi fotosintez v sinteticheskikh list'iakh pozvoliaet proizvodit' elektrichestvo* [Artificial photosynthesis in synthetic leaves allows to produce electricity]. Available at: <https://dailytechinfo.org/news/439-iskusstvennyj-fotosintez-v-sinteticheskix-listyax.html> (accessed: 11.02.2020).
15. Andrei V., Reuillard B., Reissner E. Bias-free solar syngas production by integrating a molecular cobalt catalyst with perovskite–BiVO<sub>4</sub> tandems. *Nature Materials*, 2019, no. 2, pp. 189-194.
16. *Sozdan iskusstvennyi list s vozmozhnost'iu fotosinteza* [Artificial leaf with possibility of photosynthesis has been created]. Available at: <https://fainaidea.com/nauka/materialy/sozdan-iskusstvennyj-list-s-vozmozhnostyu-fotosinteza-174344.html> (accessed: 16.02.2020).

17. Vorob'ev A. E. *Printsipy sozdaniia resursovobnovliaiushchikh tekhnologii* [Principles of creating renewable resource technology]. Dep. ruk. N. 27/9-68. Moscow, Izd-vo MGI, 1993. 15 p.

18. Vorob'ev A. E. *Resursovoproizvodiashchie tekhnologii gornykh otraslei* [Resource-reproducing mining technologies]. Moscow, Izd-vo MGGU, 2001. 150 p.

19. Naumov V. A., Fioruchchi A., Goldyrev V. V., Briukhov V. N., Fetisov V. V. Nauchnye osnovy upravleniia geologicheskimi protsessami v tekhnogenno-mineral'nykh obrazovaniiaxh [Scientific basis of management of geological processes in technogenic and mineral formations]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2018, no. 9 (75), pp. 89-92.

20. Savichev O. G., Domarenko V. A., Peregudina E. V., Lepokurova O. E. Transformatsiia mineral'nogo sostava donnykh otlozhenii ot istokov k ust'iam rek [Transformation of mineral composition of bottom sediments from river sources to mouths]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2018, no. 7, pp. 43-56.

21. Denmukhametov R. R. Vliianie orograficheskogo faktora na stok rastvorenykh veshchestv ravninnykh i gornykh rek mira [Influence of orographic factor on runoff of dissolved substances in plain and mountain rivers]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2013, no. 2, pp. 1-8.

The article submitted to the editors 15.04.2020

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Vorobev Alexander Egorovich** – Russia, 117198, Moscow; People's Friendship University of Russia; Doctor of Technical Sciences, Professor; Chief Researcher of Institute of Innovative Engineering Technologies; fogel\_al@mail.ru.

**Vorobyev Kirill Aleksandrovich** – Russia, 117198, Moscow; People's Friendship University of Russia; Student, training area "Oil&Gas Engineering"; k.vorobyev98@mail.ru.

