

К ИТОГАМ ЛОНДОНСКОЙ ОЛИМПИАДЫ: ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕКОРДЫ ЛЮДЕЙ И ЖИВОТНЫХ

Кандидат физико-
математических наук
А.М. МАКАРЬЕВА,
доктора физико-
математических наук
В.Г. ГОРШКОВ, А.В. НЕФЁДОВ
(Петербургский институт
ядерной физики)

Трубу зарубили, но воз и ныне там

Среди основных “народных” аргументов против строительства водовода был такой: вот загонят сбросы в глухую трубу, их там не увидишь, не проконтролируешь – раз, а вопрос о закрытии или перепрофилировании БЦБК снимется сам собой – это два. Насчёт “не проконтролируешь” – тут не работает: контролировать и не контролировать можно вообще всё. Ну, а вопрос о БЦБК не решается уже 24 года после отказа от трубы – это факты, статистика, “упрямая вещь”. Сейчас трудно сказать, как бы оно было при выводе “условно очищенных стоков” из бассейна Байкала и что бы стало с Иркутом (повторяю: устье Иркуты – прямо напротив площади, где размещались и размещаются городские и областные “властные структуры”). Очень может быть, что в случае заметного загрязнения Ангары этими стоками вопрос о перепрофилировании БЦБК с переходом на замкнутую схему водоснабжения или о его закрытии был бы решён. Но история не знает сослагательного наклонения...

- Кто и почему чемпион среди чемпионов: Сергей Кирдяпкин, Иван Ухов, Усэйн Болт или Майкл Фелпс?
- Что было бы с блохой, если бы она прыгнула в высоту на два метра?
- В каком виде спорта человек уступает только ослу и слону?
- Долгосрочная дисквалификация *Homo sapiens* на Олимпиаде жизни.

Все животные способны передвигаться. Но каждый биологический вид достиг совершенства в строго определённых видах передвижения. Одни виды являются рекордсменами в беге, другие в ходьбе или в ползании по земле, третьи в акробатике на деревьях. Стрижи лучше всех летают, но способны лишь медленно ползти по земле в попытках добраться до возвышения, с которого можно взлететь. Гагары летают в воздухе и плавают под водой, но не умеют ходить. Они с трудом подползают к своему гнезду, которое поэтому обязательно должно быть расположено у кромки озера или реки, но не на берегу моря с его отливами и приливами (рис. 1). Кроюты могут прорывать ходы под землёй

со скоростью до десяти сантиметров в секунду, но практически не выходят на поверхность. Обезьяны-брахиаторы,двигающиеся с помощью рук, совершают непревзойдённые акробатические трюки на деревьях, не спускаясь на землю.

Как поддерживаются эти навыки передвижения и другие видоспецифические навыки животных? Ответить на этот вопрос можно, рассмотрев принципы поддержания устойчивости организации жизни. Все виды животных образуют популяции особей. Ни один вид не существует в форме одной самовоспроизводящейся особи. Биологический смысл существования популяции состоит в непрерывном конкурентном взаимодействии особей, выявлении дефектных особей, в частности, не способных к эффективному специализированному передвижению, и удалению этих особей из популяции тем или иным способом. Это необходимо потому, что жизнь является сверхорганизованным процессом, не имеющим аналогов в неживом

Рис. 1.
Гнездо гагары.



мире¹. Эта сверхорганизация подвержена непрерывному распаду. Для сохранения уровня организации вида требуется быстрое удаление из популяции дефектных особей со скоростью, превышающей скорость распада генетической программы вида. Отметим, что наиболее существенные дефекты генетической программы затрагивают поведение. Особи с поведенческими дефектами (наильники, обманщики, трусы, глупцы и т.д.) подвергаются в природе жёсткой выбраковке.

Наиболее эффективным, распространённым по всем биологическим видам способом удаления распадных особей из популяции является секс. Секс, построенный на сложной системе сильнейших эмоций, основан на разделении всех особей популяции на два типа: самцов и самок. Самцы не способны к воспроизводству потомства. Самки способны к воспроизводству потомства, но только с разрешения самцов. Жёсткое конкурентное взаимодействие между самцами выявляет дефектных самцов. Сексуальные претензии дефектных самцов подавляются в популяции, и они устраняются из процесса воспроизводства. Нормальные самцы, выдержавшие конкуренцию, выбирают для размножения нормальных самок и не взаимодействуют с дефектными самками. Таким образом, дефектные самцы и самки устраняются из процесса воспроизводства. Но им может сохраняться жизнь и возможность размножения на случай катастроф, приводящих к гибели большинства нормальных особей. В соответствии с особенностями перестройки генетической программы при размножении среди потомства дефектных родителей всегда возникает малая доля нормальных особей. Поэтому конкурентное взаимодействие и половой отбор особей в популяции многократно усиливается после гибели большинства нормальных особей в природных катастрофах.

В нормальных условиях экологической ниши конкурентное взаимодействие самок между собой является сильно ос-

¹ Горшков В.Г., Макарьева А.М. К вопросу о возможности физической самоорганизации биологических и экологических систем // Доклады РАН. 2001.

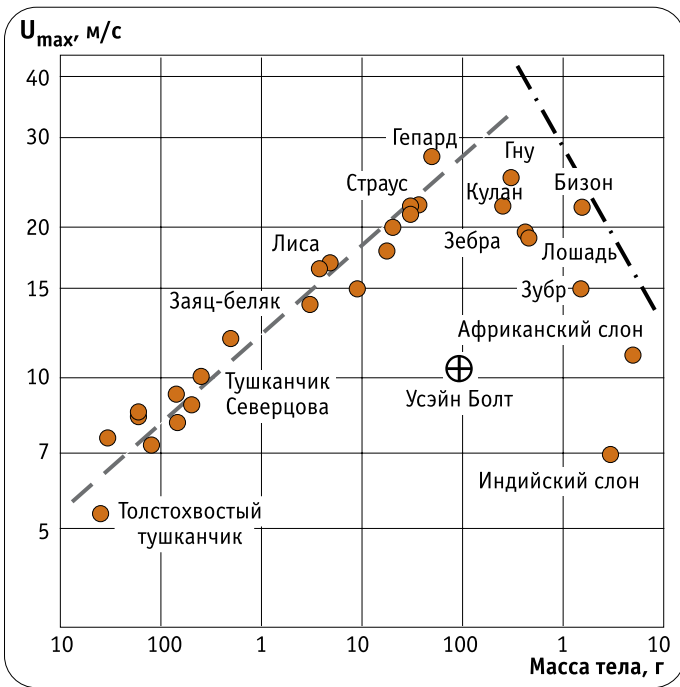


Рис. 2.
Рекорды скорости спринтерского бега у животных и человека.
Пунктирная линия $u_{max} = (13g)^{1/2}$ – максимальные рекордные скорости u_{max} бега животных с массой тела, не превосходящей массы тела гепарда.
Штрих-пунктирная линия $u_{max} = c t^{-1}$, где c – константа, – ограничение на скорость бега животных крупной гепарда, связанное с необходимостью предотвращения перегрева тела, которое животное испытало бы при более высоких скоростях.

лабленным по сравнению с конкурентным взаимодействием самцов, что оставляет самкам необходимую энергию и время для воспроизводства потомства. В периоды катастрофической перенаселённости, когда требуется быстрое сокращение численности, конкурентное взаимодействие самок, устраняющихся от размножения, приближается по силе к конкурентному взаимодействию самцов. Отметим также, что в условиях естественной экологической ниши относительная доля распадных особей очень мала, так что конкурентное взаимодействие выявляет наилучших по специали-

зированным видовым характеристикам особей среди всех нормальных особей.

Таким образом, главным условием сохранения устойчивой сверхвысокой организации жизни вида является непрерывное конкурентное взаимодействие особей и демонстрация результатов этого взаимодействия всем особям обоих полов популяции. Очевидно, что в первую очередь должны быть выявлены наилучшие особи в важнейших для биологического вида областях и, в частности, в специализированных типах передвижения. У стрижей должны быть определены особи, которые лучше всех летают, у гагар – особи, которые лучше всех летают и

плавают. Бесмысленно отбирать особей по высоте прыжков у змей или скорости спринта у кротов.

Пользующиеся огромной популярностью у всех людей планеты всемирные Олимпиады преследуют те же цели выявления наилучших особей в различных видах передвижения. Олимпийские виды спорта тщательно отбираются, и число этих видов неуклонно растёт со временем. Однако очевидно, что существует неофициальное ранжирование по различным видам спорта. Освещение рекордов Усэйна Болта в спринтерском беге, Майкла Фелпса в плавании занимают главенствующее место в средствах массовой информации. Суммарное количество золотых, серебряных и общего числа медалей определяет спортивный уровень стран-участниц без анализа специализации передвижения биологического вида *Homo sapiens*. Попробуем провести научный анализ этой специализации и оценить с этой точки зрения качество присуждённых медалей и уровень конкурентоспособности стран-участниц.

Как мы увидим, человек среди животного мира является одним из лучших ходоков и прыгунов, посредственным бегу-

ном на средние и длинные дистанции и наилучшим спринтером². Рекордная скорость бега возрастает у животных пропорционально корню квадратному их линейного размера l (рис. 2). Предел величины рекордных скоростей бега и её наблюдаемая зависимость от размера тела l определяется сопротивлением воздуха. При беге и других видах наземного передвижения существует два типа сопротивления – сопротивление о землю, не зависящее от скорости бега u , пропорциональное весу тела mg , m – масса тела, g – ускорение свободного падения, и сопротивление воздуха, пропорциональное квадрату скорости u^2 . Для того, чтобы оба типа сопротивления имели одну и ту же размерность, сопротивление воздуха, пропорциональное u^2 , должно добавляться к сопротивлению о землю в виде безразмерной комбинации. Существует только одна безразмерная комбинация, называемая числом Фруде и равная u^2/gl , где l – размер тела, определяемый как $l = (m/\rho)^{1/2}$, ρ – плотность тела, близкая к плотности воды. Число Фруде у животных бегунов-рекордсменов поддерживается на одном и том же значении, равном 13. Поэтому максимальная скорость u_{\max} растёт согласно закону $u_{\max} = (13\ gl)^{1/2}$.

Звери и птицы поддерживают постоянную температуру тела. Мощность потребления пищи выделяется внутри объёма всего тела, пропорционального l^3 , а выделяемое при этом тепло выходит через поверхность тела, площадь которой пропорциональна l^2 . Эффективность преобразования полной мощности в мощность передвижения (КПД) у всех организмов находится на уровне 25%, и только в прыжках она достигает 40%. Сопротивление о землю пропорционально массе тела, т.е. l^3 , мощность преодоления этого сопротивления пропорциональна ul^3 . Эта мощность должна покрываться из мощности потребления пищи, которая пропорциональна l^2 . Поэтому если сопротивление воздуха мень-

ше или равно сопротивлению о землю, максимальная скорость бега должна уменьшаться пропорционально $u = c/l$ ($cl^2 = ul^3$, c – константа).

Штрих-пунктирная линия на рис. 2 соответствует равенству всей мощности, затрачиваемой организмом на передвижение, и мощности сопротивления о землю. Бег животных с любыми скоростями выше штрих-пунктирной линии невозможен в силу необходимости поддержания постоянной температуры тела (превышение скорости приведёт к перегреву организма). Пунктирная линия соответствует равенству мощности сопротивления воздуха и мощности сопротивления о землю. Передвижение со скоростями выше этой линии возможно, но неэффективно: с ростом скорости выше пунктирной линии сопротивление воздуха возрастает квадратично по сравнению с сопротивлением о землю, так что последнее становится пренебрежимо малым. Бег становится невозможным – не за что зацепиться. Неизбежным становится переход к полёту, т.е. к передвижению без контакта с землёй. Поэтому числа Фруде, превышающие выделенное природой число 13, характерны для всех летающих при помощи крыльев животных. Таким образом, скорости бегунов-рекордсменов вплоть до гепарда прижимаются к пунктирной линии на рис. 1, с числом Фруде равным 13. Бегуны с размером тела больше гепарда вынуждены прижиматься к штрих-пунктирной линии. Наконец, животные, для которых бег в жизни не главное, занимают область внизу между пунктирной и штрих-пунктирной линиями.

Животные, бегающие медленнее животных-рекордсменов, испытывают практически только сопротивление о землю. Сопротивление воздуха для них незначительно. Поэтому среди особей таких животных-тихоходов быстрее бегают те, кто делает большие шаги, т.е. меньшее число касаний о землю на заданной длине пути. Это объясняет мировые рекорды Усэйна Болта, который обладает большой массой тела (большим l) и длинными шагами (рис. 2). Большинству животных рекордная скорость бега не нужна, и они демонстрировать её не могут. К таким видам относится и человек, спринтерская рекордная скорость кото-

² Горшков В.Г. Мощность и скорость передвижения животных разных размеров // Журнал общей биологии, 1983. 44 (5); Горшков В.Г. Энергетическая эффективность полёта и плавания // Журнал общей биологии, 1984. 45 (6); Gorshkov V.G., Gorshkov V.V., Makarieva A.M. Biotic regulation of the environment: Key issue of global change. L., 2000.

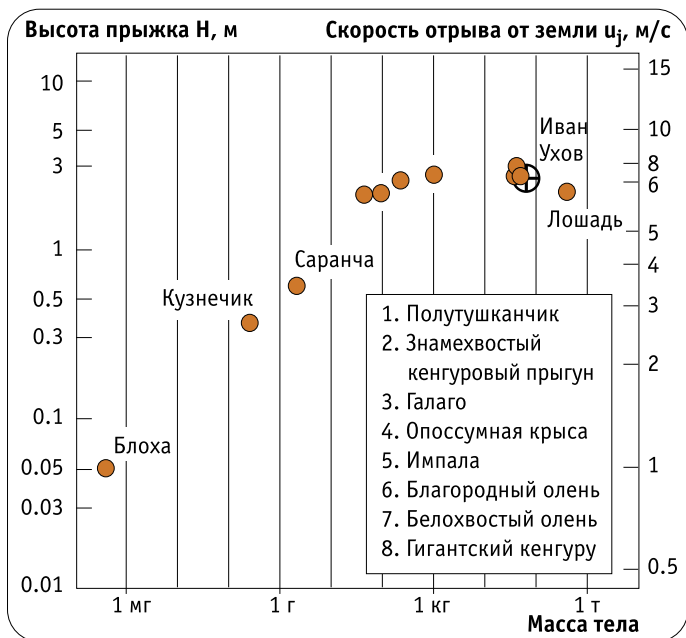


Рис. 3.
Высота прыжка в высоту у животных прыгунов-рекордсменов и человека.

рого совпадает с рекордной скоростью бега тушканчика, весящего 250 г. Рекордный бег 50-килограммового гепарда в 5 раз выше олимпийских рекордов скорости Усэйна Болта (рис. 2). Среди животных размера человека хуже человека спринт не бегают никто. То же самое относится к плаванию. Дельфины, тюлени и другие животные пловцы-рекордсмены плывут во много раз быстрее Майкла Фелпса³.

Тем не менее, как прыгун и ходок человек находится на очень высоком уровне среди всего животного мира. Высота рекордного прыжка не зависит от размеров тела, начиная с размеров синегальского галаго, который весит 200 г и прыгает с места на высоту 230 см. При небольшом разбеге животные-рекордсмены в прыжках с массой тела от 200 г до 400 кг прыгают на высоту 200–240 см (рис. 3). Поэтому достижения российских прыгунов в высоту Ивана Ухова (238 см) и Анны Чичеровой (205 см) ничем не

уступают лучшим представителям животного мира.

В прыжках с шестом, которые не доступны никому, кроме человека, проявляются те же рекордные возможности вида *Homo sapiens*. Скорости отрыва от земли определяются в этом случае не только толчком, но и, в основном, скоростью разбега. Кинетическая энергия разбега и толчка с помощью упругости шеста переводится в потенциальную энергию подъёма. Эта потенциальная энергия вместе с ручным подтягиванием тела на шесте определяют высоту H прыжка. Та же кинетическая энергия разбега и толчка определяет дальность L прыжков в длину.

Без учёта ручного подтягивания на шесте высота H прыжков с шестом и дальность L прыжка в длину связаны, как и у прыжков в высоту и в длину с места, простым физическим соотношением $L = 2 H$. Уникальный советский прыгун с шестом Сергей Бубка достиг непревзойдённых до сих пор мужских мировых рекордов, а россиянка Елена Исинбаева является обладательницей непревзойдённых мировых рекордов среди женщин.

Отметим, что, несмотря на распространённое ошибочное мнение, животные весом меньше 100 г прыгают на высоту, уменьшающуюся с уменьшением их размера тела: кузнечик весом 0.25 г прыгает на высоту 20 см, а блоха весом 0.45 мг на высоту 6 см, а не 2 м, вопреки широко распространённому заблуждению (рис. 3). Во время прыжка высвобождается энергия, запасённая в теле животного. Высота прыжка определяется равенством кинетической и потенциальной энергии, $mu_j^2/2 = mgH$ (закон сохранения энергии). Эта высота не зависит от массы тела животного: $H = u_j^2/2g$, где u_j – вертикальная скорость отрыва от земли. Мощность передвижения на единицу массы, развиваемая животным в прыжке, связана со скоростью u и размером тела животного l и должна быть пропорциональна u^3/l , так как это единствен-

³ Горшков В.Г. Энергетическая эффективность полёта и плавания // Журнал общей биологии, 1984. 45 (6).

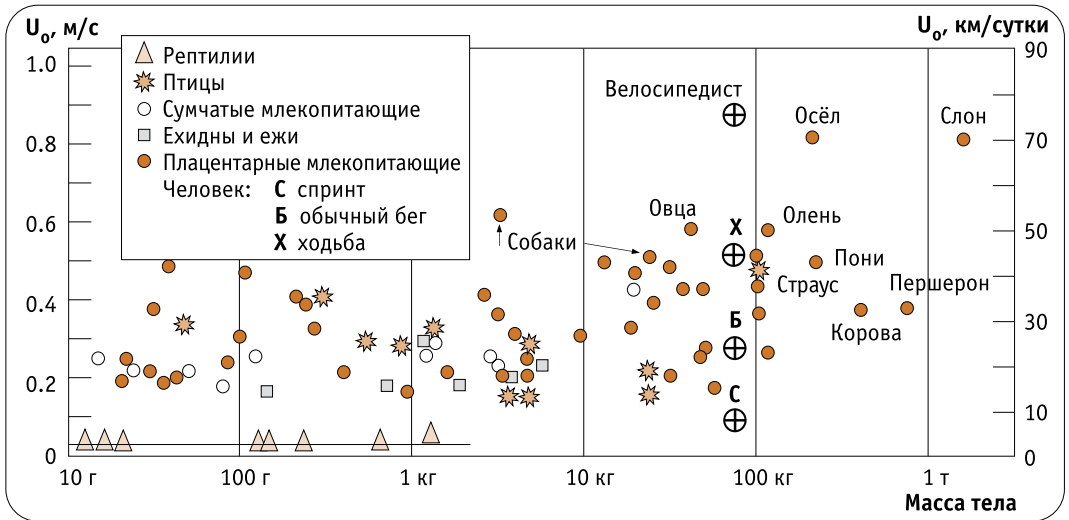


Рис. 4. Среднесуточная скорость передвижения животных и человека u_0 , поддерживаемая в течение всей зрелой жизни. Чем выше эффективность передвижения, тем выше u_0 .

ная величина размерности мощности на единицу массы, которую можно построить из величин u и l . При фиксированном значении u_j , определяемом законом сохранения энергии, мощность прыжка возрастает с уменьшением размера тела l и достигает биохимического предела $q_{\max} = 5 \text{ Вт/г}$ для размера галаго ($m \sim 200 \text{ г}$). Дальнейшее возрастание мощности с уменьшением l невозможно, и высота прыжка ограничена условием $u_j^3/l = q_{\max}$. То есть, $u_j = (q_{\max} l)^{1/3}$, что означает, что у животных, меньших по размеру, чем галаго, высота прыжка H пропорциональна $l^{2/3}$. Это приводит к уменьшению высоты прыжков у саранчи, кузнечика и блохи по сравнению с более крупными животными (рис. 3).

Чтобы блохе с размером тела порядка $l \sim 1 \text{ мм}$ прыгнуть на высоту H более 2 м (как это делает олимпийский чемпион Иван Ухов), она должна была бы развить мощность, недопустимую для живых организмов. На единицу массы эта мощность составила бы $u^3/l \sim 200 \text{ Вт/г} \gg q_{\max}$. Это

привело бы к сгоранию блохи, которая в этом последнем в своей жизни прыжке сверкнула бы яркой искоркой.

Длительная и быстрая ходьба требует от организма наибольшей эффективности перевода запасённых в теле энергетических запасов в энергию передвижения. Можно определить среднесуточную скорость передвижения u_0 , которая увеличивается с ростом эффективности передвижения (аналога того, сколько литров бензина тратит автомобиль на передвижение одного килограмма своего веса на сто километров пути). Эта скорость не зависит от размера тела и изменяется у всех животных в ограниченных пределах (рис. 4)⁴. По этой

⁴ Горшков В.Г. Мощность и скорость передвижения животных разных размеров // Журнал общей биологии, 1983. 44 (5); Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М., 1995.

Рис. 5. Весенний бой змей.



характеристике передвижения человек находится вблизи максимума, достигнутого в животном мире, и значительно уступает только ослу и африканскому слону. Поэтому достигнутые в Лондоне олимпийский рекорд Сергея Кирдяпкина (3 часа 36 мин в спортивной ходьбе на 50 км, средняя скорость $u = 3.9 \text{ м/с} = 14 \text{ км/ч}$) и мировой рекорд Елены Лашмановой (1 час 25 мин в спортивной ходьбе на 20 км, та же средняя скорость $u = 3.9 \text{ м/с} = 14 \text{ км/ч}$) являются рекордными достижениями именно в тех видах передвижения, которые представляют собой специализацию вида *Homo sapiens*, т.е. в той области, в которой человек функционирует на уровне мировых стандартов всего живого мира. (Однако именно эта выносливость и способность к продолжительной ходьбе позволила человеку освоить всю сушу и привести её в современное плачевное состояние. Африканский слон, в свою очередь, возможно, потрудился над уничтожением природы Африки. И только осёл, такой же уникальный ходок, никак не испортил среду своего обитания.)

Борьба широко распространена среди самцов большинства видов животных. Человек также находится здесь на уровне мировых стандартов жизни, но не превосходит их. Например, самцы широко всем на территории России известной змеи – обыкновенной гадюки – во время весенних боёв демонстрируют захватывающую “греко-римскую” борьбу, во время которой ведут себя исключительно корректно и никогда не поражают ядом своих соперников (рис. 5).

Особь человеческой популяции должны уметь ходить, бросать камни и прыгать – это генетически запрограммированные способности вида *Homo sapiens*. Этому виду не нужно было быстро бегать и плавать, как не нужно бегать и плавать, например, летучей мыши. Люди плавают и бегают много хуже других животных. Поэтому у широкой общественности особой популярностью пользуются спортсмены, достигающие рекордов именно в этих видах спорта, на которых особь других биологических видов, будь они спортивными судьями, не обратили бы никакого внимания. Вряд ли гимнас-

тическая акробатика людей на Олимпиаде представляла бы интерес для тропических обезьян-брахиаторов, а спортивные прыжки в воду поразили бы птиц-ныряльщиков олушей, погружающихся с уникальными пируэтами в воду без плеска на скорости в сто км в час.

Однако никто в животном мире не бросает камни на большие расстояния и не метает молот. Никто из животных не умеет играть в теннис, волейбол, баскетбол. Эти и другие игровые виды спорта требуют не только уникальных типов передвижения, но и быстрого соображения. Золотые медали россиянки Татьяны Лысенко, олимпийской рекордсменки в метании молота, и драматичные победы наших волейбольной и баскетбольной команд в заключительные дни Олимпиады также выделяются из остальных олимпийских достижений Лондона-2012, потому что это рекорды всей жизни на планете.

Поэтому российские медали на Лондонской Олимпиаде имеют особое достоинство. Этим достижениям могло бы рукоплескать всё живое на нашей планете, если бы человек не был уже давно дисквалифицирован за неспортивное поведение по отношению к остальным участникам соревнований – разрушение местообитаний всех естественных видов биоты Земли.

Ответы на кроссворд

По горизонтали: 1. Пригорок. 5. Макинтош. 9. Льеж. 10. Фокс. 11. Дискуссия. 14. Кираса. 15. Тендер. 16. Ярд. 17. Наличник. 19. Автаркия. 21. Эстакада. 23. Праздник. 25. Рур. 26. Допинг. 28. Консул. 30. Термопара. 32. “Клоп”. 33. Мира. 34. Подтекст. 35. Танкетка.

По вертикали: 1. Полоскун. 2. Идея. 3. Ракита. 4. Краковяк. 5. Мансарда. 6. Кубист. 7. Трон. 8. Шестерня. 12. Ламинария. 13. Инбридинг. 18. Инд. 20. Вар. 21. Эндоскоп. 22. Аргумент. 23. Проспект. 24. Колымага. 27. Гребок. 28. Карбон. 29. Корд. 31. Мирт.