

ДОКЛАДЫ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1987

ТОМ 297 № 4

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

Е.В. РОМАНЕНКО, академик В.Е. СОКОЛОВ

**СМАЧИВАЕМОСТЬ ВОЛОСЯНОГО ПОКРОВА
СЕВЕРНОГО МОРСКОГО КОТИКА**

Известно [1—5], что волосяной покров северных морских котиков не промокает в воде и сохраняет воздушную прослойку очень долго. Толщина прослойки может составлять несколько миллиметров [6]. Она может, по-видимому, изменяться в широких пределах в зависимости от условий, в которых находится животное. Очевидно, она должна определяться в первую очередь глубиной погружения котика, так как от глубины зависит гидростатическое давление. Заметное влияние на толщину воздушной прослойки должно оказывать загрязнение волосяного покрова, сказывающееся прежде всего на его способности удерживать воздух. Должны влиять также травмы, нарушающие целостность волосяного покрова животного.



Рис. 1. Капля дистиллированной воды на пуховом волосе (а) и на стеклянной нити, покрытой парафином (б)

Считается, что сохранение воздуха в волосяном покрове обусловлено гидрофобностью волоса и его исключительной густотой. Гидрофобность же волосяного покрова относят исключительно за счет его смазывания секретом сальных и потовых желез. Такое объяснение, вполне логичное по своей сути, тем не менее является гипотетическим и нуждается в доказательствах. Необходимы количественные лабораторные исследования степени смачиваемости волос котика. К сожалению, в научной литературе подобных данных нет.

Количественной мерой смачиваемости твердого тела жидкостью является величина так называемого краевого угла, образуемого границей жидкости и поверхностью тела. Проще всего краевой угол наблюдать при нанесении капли жидкости на поверхность твердого тела. Однако, когда исследуемое твердое тело представлено в форме отдельного тонкого волоска (толщина 7–10 мкм, длина 3–4 мм), осуществление такой методики проблематично. Тем не менее известна методика малой капли, наносимой на тонкую нить с целью измерения краевого угла [7].

В нашем варианте метод малой капли заключался в осаждении микроскопически малых капель воды (50–300 мкм) с помощью пульверизатора на отдельном волоске и одновременном их фотографировании (или киносъемке) через микроскоп. Очень удобен для этой цели стереоскопический микроскоп типа МБС-2, обладающий длиннофокусным объективом и обеспечивающий увеличение в 87,5 раза. Предварительно волос натягивают и закрепляют на специальном держателе в поле зрения микроскопа с помощью любого клея или пластилина.

Такая методика позволяет измерять краевой угол в трех режимах: оттекания, стационарного уровня и натекания жидкости. Смысл этих режимов очевиден. При оттекании площадь, занимаемая каплей жидкости на волосе, уменьшается; в режиме стационарного уровня остается неизменной, при натекании увеличивается. Измерение краевого угла, образуемого на границе раздела капли и волоса, производят на фотоотпечатках известными способами [7, 8].

Для выяснения роли смазывания волос секретом сальных и потовых желез как возможной причины их гидрофобности вполне логично изучить смачиваемость волос в их натуральном виде (сразу же после взятия проб волос у животного), а затем волос, тщательно отмытых от возможного секрета. Именно в такой последовательности нами проводились исследования смачиваемости волос котика с помощью описанной выше методики. Пробы волос брали от самки, имеющей возраст около трех лет. Участки тела, с которых брали пробы, расположены на границах волосяного покрова правого переднего и правого заднего лап, на спине, правом боку,



Рис. 2. Расположение кутикулярных чешуек на поверхности пухового волоса, обуславливающее ее шероховатость

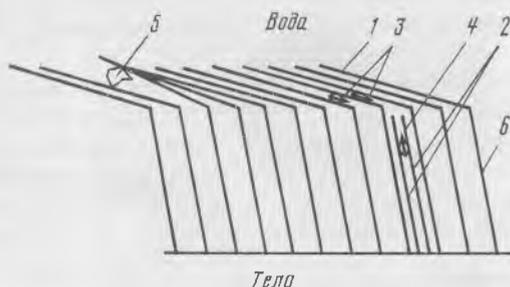


Рис. 3. Схема структуры волосяного покрова котика и формирования капиллярных сил. 1 — гранна остевого волоса, 2 — пуховой волос, 3 — капиллярные силы между граннами остевых волос, 4 — капиллярные силы между пуховыми волосами, 5 — посторонняя частица, 6 — ножка остевого волоса

животе, а также на голове (между глаз). Волосы выдергивали пинцетом и сразу же погружали в контейнеры с морской водой с целью предотвратить возможное высыхание секрета, имеющегося на волосе. Интервал времени между взятием пробы и фотографированием капель морской воды на волосе составлял 3–5 мин. Затем волос отмывали в течение нескольких часов (а иногда и суток) в этиловом спирте. Для контроля пользовались также стиральным порошком, шампунем и ацетоном. Отмытый волос исследовали тем же методом, осаждавая капли морской и дистиллированной воды.

Исследования в режиме натекания и стационарного уровня показали, что как натуральный (неотмытый), так и отмытый пуховой волос на всей своей длине смачивается очень плохо и морской (соленость около 14‰), и дистиллированной водой. Краевой угол во всех случаях имеет величину около 130°. На рис. 1а показана капля дистиллированной воды на пуховом волосе толщиной около 7 мкм. Для сравнения на рис. 1б показана капля воды на стеклянной нити (диаметром около 10 мкм), покрытой тонким слоем парафина.

Смачивание остевого волоса не одинаково по его длине. Ножка волоса смачивается плохо (краевой угол около 90°). Гранна смачивается хорошо, краевой угол около 20°.

Величина краевого угла, образуемого каплями воды на пуховом и остром волосах, не зависит от того, с какого участка тела взята проба.

В режиме оттекания воды как пуховой, так и оственной волосы смачиваются очень хорошо. Краевой угол в этом случае в процессе высыхания капли уменьшается от 130° до весьма малой величины.

Плохая смачиваемость пухового волоса котика в режиме натекания и стационарного уровня может быть обусловлена двумя причинами: биохимическими свойствами самого волоса, которые нам пока неизвестны, и значительной шероховатостью его поверхности, которая известна и показана на рис. 2. Известно [9], что для шероховатой поверхности справедливо соотношение

$$(1) \quad \cos \theta_{\text{каж}} = r \theta_{\text{ист}},$$

где r — коэффициент шероховатости, определяемый отношением истинной площади поверхности тела к ее кажущейся площади, $\theta_{\text{каж}}$ — кажущийся краевой угол на шероховатой поверхности, $\theta_{\text{ист}}$ — истинный краевой угол, определяемый биохими-

ческими свойствами материала. Для абсолютно гладкой поверхности $r = 1$, для шероховатой всегда $r > 1$. Из формулы (1) следует, что, если $\theta_{\text{ист}} < 90^\circ$, шероховатость поверхности приводит к уменьшению кажущегося краевого угла. Если же $\theta_{\text{ист}} > 90^\circ$, то, наоборот, шероховатость приводит к увеличению кажущегося краевого угла. Формула (1) справедлива при условии, что вода заполняет все впадины шероховатой поверхности. Однако она может запырывать пузырьки воздуха в некоторых впадинах. Это обстоятельство может приводить к еще более значительному отличию кажущегося (измеряемого) краевого угла от истинного, чем это следует из формулы (1). Реально же смачивание определяется измеренным (кажущимся) значением краевого угла.

Как уже отмечалось, гранна и ножка остевого волоса по-разному смачиваются. Наиболее вероятная причина этого — биохимические различия гранны и ножки, так как особенностями структуры поверхности различий в смачиваемости объяснить не удается [9].

Хорошая смачиваемость гранны остевого волоса имеет, по-видимому, адаптивный характер, так как является необходимым условием удержания воздушной прослойки в волосяном покрове. Качественно это можно проиллюстрировать с помощью рис. 3. На этом рисунке схематически показано, как гранны остевых волос, прилегая друг к другу, образуют нечто подобное черепичной крыше над пуховым волосом. Эта особенность гранны остевых волос уже отмечалась в литературе. Назначение такой крыши не в том, чтобы препятствовать проникновению воды в волосяной покров, а, наоборот, чтобы втягивать воду. Этому способствует хорошая смачиваемость гранн и весьма малые зазоры между отдельными граннами. Капиллярные силы, обусловленные капиллярным давлением в промежутках между граннами, направлены внутрь и втягивают воду. Попытка воздуха выйти из пухового покрытия через зазоры между граннами предотвращается значительной величиной этих сил. Втягиваясь в зазоры между граннами, вода доходит до места перегиба остевых волос. Однако попытка воды проникнуть внутрь пухового покрытия должна встречать противодействие капиллярных сил, возникающих между пуховыми волосами и направленных наружу. Обе эти силы (в зазорах между граннами и между пуховыми волосами) стремятся удержать границу воды в месте перегиба остевого волоса. Такая картина должна наблюдаться при плавании котика у поверхности воды. При погружении его на глубину внешнее гидростатическое давление преодолевает капиллярные силы пухового покрытия и загоняет воду внутрь него несмотря на плохую смачиваемость пуха. Глубина проникновения воды в пуховое покрытие тем больше, чем больше глубина погружения котика. При чрезмерном погружении котика на глубину воздух из пухового покрытия либо будет выдавлен гидростатическим давлением через дефекты волосяного покрова, либо растворится в воде.

На том же рис. 3 показан случай загрязнения волосяного покрова посторонней частицей. Она препятствует прилеганию гранн плотно друг к другу. В этом месте резко уменьшается капиллярная сила, затягивающая воду внутрь. В результате воздух из пухового покрытия будет беспрепятственно выходить наружу и воздушная прослойка не сохранится. Именно стремлением избавиться волосяной покров от грязи, по-видимому, объясняются часто наблюдаемые процедуры почесывания котиков лапами в различных местах тела.

При очень плохой смачиваемости пухового волоса его большая густота способствует формированию значительных капиллярных сил, препятствующих проникновению воды в пуховое покрытие. Наряду с плохой смачиваемостью пуха и хорошей смачиваемостью гранн остевых волос большая густота волос является адаптивным приспособлением, обеспечивающим сохранение воздушной прослойки.

Что же касается смазывания пуховых волос секретом сальных и потовых желез, то оно, по-видимому, не играет существенной роли в обеспечении гидрофобности волос, так как волос сам по себе является гидрофобным вследствие биохимических особенностей и шероховатости.

Институт эволюционной морфологии и экологии животных
им. А.Н. Северцова
Академии наук СССР, Москва

Поступило
27 V 1987

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудкова-Аксенова Н.С. Учен. зап. Горьк. ун-та, 1951, вып. 19, с. 135–174.
2. Соколов В.Е. Бюл. МОИП. Отд. биол., 1960, т. 45, вып. 4.
3. Соколов В.Е. Кожный покров млекопитающих. М.: Наука, 1973. 488 с.
4. Белькович В.М. Приспособительные особенности строения кожного покрова водных млекопитающих. Автореф. канд. дис. М., 1962.
5. Мараков С.В. Северный морской котик. М.: Наука, 1974. 72 с.
6. Романенко Е.В., Соколов В.Е. Морские млекопитающие. Тез. докл. 9 Всес. совещ. по изучению, охране и рациональному использованию морских млекопитающих. Архангельск, 1986, с. 340–341.
7. Шербаков Л.М., Рязанцев П.П. В кн.: Поверхностные явления в расплавах. Нальчик: Кабард.-Балк. кн. изд-во, 1965, с. 230–234.
8. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. М.: Химия, 1974. 414 с.
9. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979. 275 с.