

**ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБМЕНА И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ГОРЦЕВ  
В СРЕДНЕ- И ВЫСОКОГОРЬЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АДАПТАЦИИ  
К ПРОМЫШЛЕННОМУ ТРУДУ**

**К.О. Джусупов** – ассистент  
КГМА

---

Показано снижение максимальной аэробной работоспособности горцев с ростом высоты местности и сравнительно низкие показатели скорости потребления кислорода у горцев, не адаптированных к труду.

В горных районах функционируют и строятся промышленные комплексы. Здесь живет и трудится значительная часть населения, основной состав которого – горцы. Поэтому решение проблем, связанных с адаптацией организма горцев к производственному труду в условиях

высокогорного климата, является актуальным не только в медико-биологическом, но и в хозяйственном отношении.

Вопрос о влиянии различной высоты над уровнем моря на процесс адаптации к физическому труду в промышленности, за исключением

условий низкогогорья, мало изучен и в литературе практически не освещен [1–6].

Цель работы – изучение влияния адаптации к производственному труду в условиях средне- и высокогорья на газообмен и работоспособность организма.

**Материалы и методы исследования.** В покое и при выполнении дозированной мышечной работы на велоэргометре на высотах 860, 1800 и 2800 м над ур.м. были обследованы три группы горцев 20–45 лет: 1 группа – неадаптированные к промышленному труду, т.е. только начинающие работу в горной промышленности, 2 группа – адаптированные к труду средней тяжести, 3 группа – адаптированные к тяжелому труду (табл. 1).

Показатели газообмена определяли открытым способом по Дугласу-Холдену, анализ воздуха – с помощью газоанализатора ГВВ-2. Энер-

готраты (ккал/мин) устанавливали на основании данных потребления кислорода и выделенной углекислоты, приведенных к условиям STPD, и расчета дыхательного коэффициента.

Максимальную аэробную работоспособность оценивали по уровню максимального потребления кислорода (МПК) при дозированной нагрузке 240 кгм/мин на велоэргометре [7].

**Результаты.** Максимальное потребление кислорода у горцев, адаптированных к труду, в среднем было равно  $2.878 \pm 0.09$  л/мин (при вариабельности данных 21%), что несколько ниже величины, характерной для жителей средней полосы России [8]. При расчете же на 1 кг массы тела аэробная работоспособность у жителей среднегорья была равна  $43.8 \pm 1.4$  мл/мин, т.е. совпадала с данными других авторов, полученными для жителей низкогогорья (рис. 1) [9].

Таблица 1

Некоторые антропометрические показатели обследованных рабочих

Показатель	Неадаптированные к труду	Адаптированные к труду		Всего
		средней тяжести	значительной тяжести	
В условиях низкогогорья (860 м)				
Количество	22	25	25	72
Масса, кг	$69.5 \pm 1.4$	$69.9 \pm 1.2$	$69 \pm 1.1$	$69.5 \pm 1.41$
Рост, см	$169 \pm 1.8$	$170.8 \pm 1.0$	$168 \pm 1.4$	$169 \pm 0.89$
В условиях среднегорья (1800 м)				
Количество	20	34	37	91
Масса, кг	$68.1 \pm 1.31$	$68.0 \pm 1.10$	$68.0 \pm 1.46$	$68 \pm 0.86$
Рост, см	$168 \pm 1.15$	$167 \pm 0.96$	$167 \pm 1.50$	$167 \pm 0.75$
В условиях высокогорья (2800 м)				
Количество	25	36	31	92
Масса, кг	$70.2 \pm 1.1$	$70.5 \pm 1.0$	$69.4 \pm 1.0$	$70 \pm 0.9$
Рост, см	$167 \pm 1.05$	$169.5 \pm 1.15$	$169.7 \pm 1.0$	$168.9 \pm 0.91$

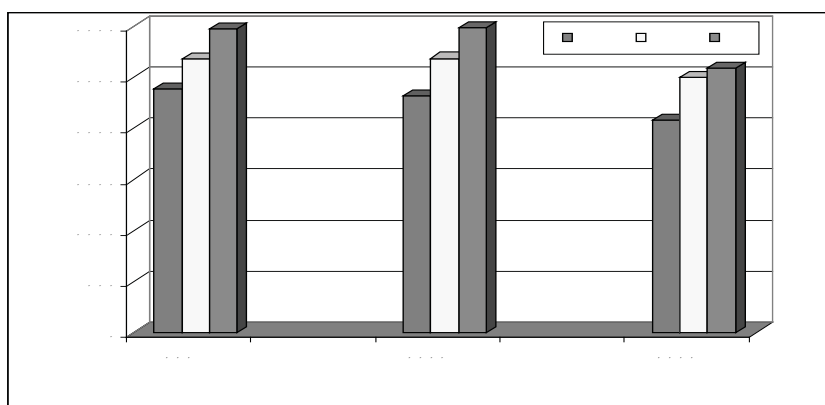


Рис. 1. МПК у горцев, не адаптированных (НА) и адаптированных к промышленному тяжелому труду (АТ) и средней тяжести (АС) на разной высоте над уровнем моря.

Скорость максимального потребления кислорода (МПК) в средне- и высокогорье была неодинаковой (рис. 1). Проведенные исследования показали, что потребление кислорода (ПК) во время дозированной нагрузки на велоэргометре (240 кгм/мин) в условиях низкогорья у горцев, неадаптированных к промышленному труду, было несколько ниже, чем в среднегорье, но выше, чем в высокогорье ( $p < 0.05$ ).

Дальнейший анализ позволил установить, что у рабочих, выполняющих труд со средним физическим напряжением, МПК было достоверно ниже, чем у рабочих-горцев, выполнявших труд со значительной степенью физического напряжения. Подобные различия выявлялись и при расчете МПК на 1 кг массы тела рабочего. Если у групп, работающих со средним физическим напряжением, этот показатель составлял  $40.6 \pm 1.95$  мл/мин на 1 кг массы тела, то у выполнявших труд со значительным физическим напряжением он был равен  $46.7 \pm 1.87$  мл/мин ( $p < 0.01$ ).

Сравнение с данными, полученными в низкогорье, свидетельствует о том, что ни у рабочих, выполнявших труд средней тяжести, ни у адаптированных к тяжелому труду МПК в среднегорье не отличалось от того, что было зарегистрировано в низкогорье.

В условиях высокогорья и ПК во время работы и кислородный долг, и общий кислородный запрос на работу были значительно выше, чем в средне- и низкогорье ( $p < 0.02$ ). Увеличение кислородного запроса привело к росту кислородной стоимости работы, которая в высокогорье особенно повысилась, оба показателя в условиях высокогорья были достоверно более высокими, чем в средне- и низкогорье (рис. 2).

Увеличение кислородного долга на строго дозированную работу и кислородной стоимости работы, как показали исследования, было за счет значительного роста функциональных затрат, в частности внешнего дыхания, на её выполнение. Так, минутный объём дыхания при выполнении работы в высокогорье на  $2.4 \pm 0.35$  л/мин выше, чем в низкогорье, и восстановление его до предрабочего уровня происходит позже, чем в низкогорье, но отличия эти статистически недостоверны. Среднединамическое давление имеет тенденцию к повышению в высокогорье, а периферическое сопротивление – к снижению. Механическая стоимость кровообращения в высокогорье достоверно выше, чем в низкогорье.

У горцев, адаптированных к промышленному труду, при нагрузке 240 кгм/мин ПК и кислородный долг почти не увеличиваются в отличие от неадаптированных к промышленному труду горцев, у которых и ПК, и кислородный долг в среднегорье возрастают (рис. 2). Значительно в меньшей мере, чем у неадаптированных, у рабочих, выполнявших труд средней тяжести в среднегорье, соотношения между потреблением кислорода во время работы и кислородным долгом изменяются. В низкогорье потребление кислорода во время дозированной нагрузки малой интенсивности у горцев, адаптированных к труду средней тяжести, превышало кислородный долг на  $33.3 \pm 1.2\%$ , а в среднегорье – на  $19.0 \pm 0.9\%$ . Соотношение между ПК во время работы и кислородным долгом у рабочих, адаптированных к промышленному труду значительной тяжести в среднегорье, более благоприятно, чем у других категорий обследованных лиц. Во время работы организм горцев, адаптированных

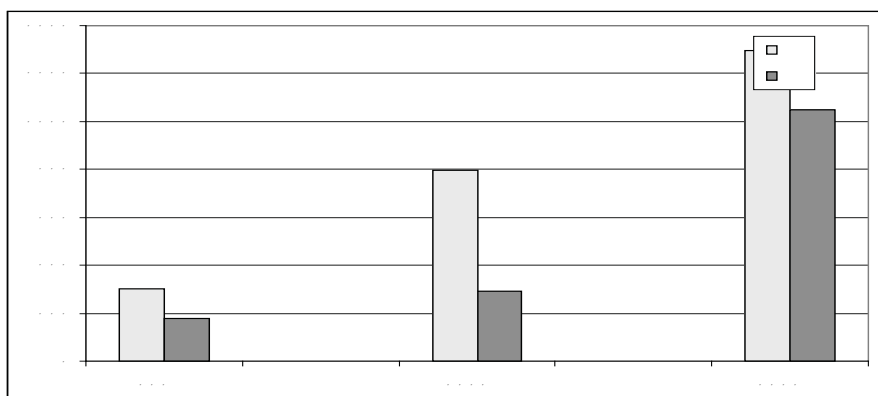


Рис. 2. Кислородный долг после выполнения производственной операции средней тяжести у горцев, не адаптированных (НА) и адаптированных к промышленному труду средней тяжести (АС) на разной высоте над уровнем моря.

к тяжелому труду на высоте 1800 м, потребляет  $119.0 \pm 2.1\%$ . У неадаптированных к труду горцев в низкогорье были почти равные соотношения между ПК во время работы и кислородным долгом ( $92.9 \pm 1.4\%$ ). В среднегорье кислородный долг у неадаптированных к промышленному труду возрос, и ПК во время работы составляло только  $69.9 \pm 0.8\%$  кислорода, потребленного для погашения кислородного долга.

Наряду с изучением реакции организма рабочих на дозированную нагрузку, выполнявшуюся на велоэргометре, проводилось определение скорости ПК и энергозатрат непосредственно на рабочем месте в момент выполнения рабочими определенной производственной операции и в ближайшем восстановительном периоде после неё. У рабочих, выполнявших производственные операции средней тяжести, потребление кислорода во время работы было таким же, как и в условиях низкогорья, но кислородный долг после выполнения работы был достоверно большим. Восстановление нормального уровня ПК было почти полным на шестой-седьмой минутах после конца работы. Скорость выделения углекислого газа у рабочих этой группы в среднегорье и в покое, и особенно во время работы была большей, чем в низкогорье. Восстановление исходного уровня скорости выделения углекислого газа почти завершалось к пятой минуте после конца работы. Дыхательный коэффициент во время работы увеличивался до 0.91 и оставался повышенным до пятой минуты восстановительного периода (табл. 2).

У горнорабочих, выполнявших труд средней тяжести в условиях среднегорья, энергетическая характеристика производственной деятельности мало отличалась от соответствующей характеристики в низкогорье.

Аналогичные выводы могут быть сделаны и в отношении горцев, адаптированных в условиях среднегорья к промышленному труду со значительным физическим напряжением. Как следует из табл. 2, ПК и энергозатраты на выполняемую производственную операцию (бурение) практически не отличаются от того, что имело место в условиях низкогорья при выполнении такой же производственной операции.

Отсутствие существенных отличий энергозатрат на выполнение производственных операций и практически одинаковая кислородная стоимость дозированной нагрузки, не сниженный уровень МПК свидетельствуют о том, что у горцев, адаптированных к тяжелому промышленному труду, труд в условиях среднегорья осуществляется с не более ощутимым напряжением, чем в условиях низкогорья, что работоспособность горцев, адаптированных к тяжелому труду в промышленности, в среднегорье не снижается.

Отношение потребления кислорода во время работы к кислородному долгу при нагрузке малой интенсивности с высотой снижается, и у адаптированных к промышленному труду горцев оказывается равным  $62.3 \pm 1.6\%$ , что достоверно выше, чем у неадаптированных ( $p < 0.01$ ).

Рост кислородного долга и кислородного запроса на работу является причиной значительного увеличения кислородной стоимости работы в высокогорье (рис. 3). С ростом высоты местности у адаптированных к труду средней тяжести она оказывается достоверно выше ( $p < 0.01$ ), хотя и меньше (также достоверно), чем у неадаптированных (рис. 3). Увеличение кислородной стоимости работы связано с увеличением механической стоимости вентиляции и кровотока не столько во время работы, сколько во время восстановительного периода.

Таблица 2

Энерготраты организма горцев на выполнение трудовых операций на разных высотах

Производственная операция		Выемка грунта экскаватором		Бурение	
		Неадаптированные к производственному труду	Адаптированные к производственному труду средней тяжести	Неадаптированные к производственному труду	Адаптированные к тяжелому труду
Общие, ккал	низкогорье	$28.5 \pm 1.0$	$26.3 \pm 0.9$	$37.12 \pm 1.2$	$32.6 \pm 0.9$
	среднегорье	$29.4 \pm 0.9$	$27.1 \pm 1.1$	$37.9 \pm 1.4$	$33.0 \pm 1.1$
	высокогорье	$26.08 \pm 0.8$	$22.7 \pm 0.6$	$48.6 \pm 1.3$	$34.9 \pm 1.1$
ккал/мин	низкогорье	$2.67 \pm 0.06$	$2.23 \pm 0.04$	$3.58 \pm 0.08$	$2.9 \pm 0.12$
	среднегорье	$2.72 \pm 0.08$	$2.26 \pm 0.05$	$3.64 \pm 0.18$	$3.0 \pm 0.06$
	высокогорье	$3.1 \pm 0.1$	$2.45 \pm 0.09$	$4.08 \pm 0.21$	

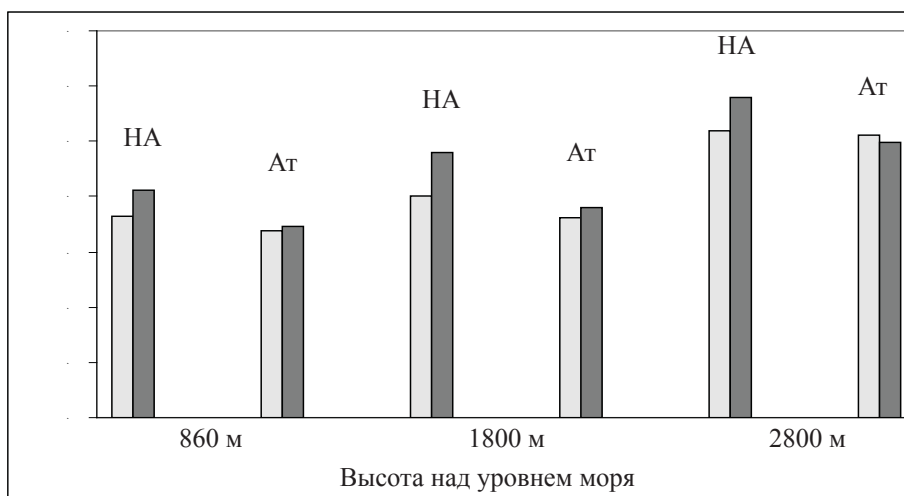


Рис. 3. Кислородная стоимость дозированной (240 кгм/мин) работы (А), производственных операций средней тяжести (Б) у горцев, не адаптированных (НА) и адаптированных (Ат) к промышленному труду на разной высоте над уровнем моря.

Необходимо, однако, подчеркнуть, что при повышенной эффективности и экономичности кислородных режимов организма ПК во время выполнения производственных операций и в большей степени кислородный долг после них растут. Это свидетельствует о том, что энергозатраты организма рабочих в высокогорье достоверно повышаются (табл. 2). Так, если в условиях низкогогорья и среднегорья операции, отнесенные нами к труду средней тяжести, требуют затраты  $3.58 \pm 0.3$  ккал/мин и  $3.56 \pm 0.28$  ккал/мин соответственно во время самой работы и сопровождаются относительно небольшим кислородным долгом и небольшими затратами энергии на его погашение, то в условиях высокогорья общая кислородная стоимость выполнения производственных операций возрастает и с ней увеличиваются энергозатраты на работу (на  $1.3 \pm 0.09$  ккал/мин). Энергозатраты практически не увеличиваются во время выполнения трудовых операций, но заметно возрастают в процессе погашения кислородного долга.

Ещё более заметно увеличиваются энергозатраты на труд значительной тяжести. Разница в общих энергозатратах на осуществление производственных операций со значительным физическим напряжением (бурение) в условиях высоко- и среднегорья составляет  $1.35 \pm 0.05$  ккал/мин. Увеличение энергозатрат на работу средней и большой тяжести у адаптированных рабочих происходит за счет некоторого повышения по-

требления кислорода в покое, связанного с усилением дыхания и с большими функциональными затратами (преимущественно за счёт усиления дыхания) во время и особенно в ближайшее время после самой работы.

Адаптация к промышленному труду средней и особенно большой тяжести приводит к экономизации функций организма в покое и в ещё большей степени во время выполнения физического труда. Она снижает энергозатраты организма на выполнение производственных операций и повышает работоспособность горцев на разных высотах, включая и начальные высоты высокогорья. В высокогорье у горцев, адаптированных к промышленному труду и тем более неадаптированных, кислородная стоимость выполнения производственных операций, энергозатраты на них, напряжение функции основных физиологических систем, принимающих участие в обеспечении организма кислородом, значительно выше, чем в низкогорье.

#### Литература

1. Шкулов В.Л., Белоцерковская Л.И. Показатели состояния адаптации к труду с физическим напряжением в климатических условиях жаркого климата Центрального Казахстана // Адаптация человека. – Л., 1972. – Т. 1. – С. 227–233.
2. Greksa L.P. Growth and development of Andean high altitude residents // High Alt. Med. Biol. – 2006. – V. 7(2). – P. 116–124.

3. *Pascalin C. and Jeannerod M.* Changes in breathing during observation of effortful actions // ISC working papers. – 2000. – V. 2; <http://www.isc.cnrs.fr/wp/wp00-2.htm>.
4. *Lundby C. et al.* Maximal exercise and muscle oxygen extraction in acclimatizing lowlanders and high altitude natives // *J Physiol.* – 2006. – V. 573 (Pt 2). – P. 535–547.
5. *Lundby C. et al.* Pulmonary gas exchange at maximal exercise in Danish lowlanders during 8 wk of acclimatization to 4,100 m and in high-altitude Aymara natives // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2004. – V. 287 – P. 1202–1208.
6. *Wilmore J.H., Stanforth P.R., Gagnon J., et al.* Cardiac output and stroke volume changes with endurance training: The HERITAGE Family Study // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2001. – Vol. 33. – №1. – P. 99–106.
7. *Аулик И.В.* Определение физической работоспособности в клинике и спорте. – М.: Медицина, 1990. – 192 с.
8. *Лихницкая И.И.* Работоспособность человека и итоги её изучения в различных климатических зонах СССР // *Ресурсы биосферы. Адаптация человека.* – Л., 1976. – Т. 3. – С. 163–180.
9. *Миррахимов М.М.* Физиологические исследования человека на высотах Тянь-Шаня и Памира (обзор) // *Адаптация человека.* – Л.: Наука, 1972. – Т. 1. – С. 94–111.