

## Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

2025-2026 учебный год

Решения заключительного этапа

10 класс

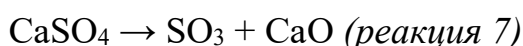
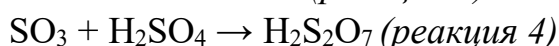
### Задача 1. Дымовые газы

1. Кислотными оксидами являются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ .
2. Достаточно привести две любые разумные реакции, например:  
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$$
$$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3$$
$$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$$
3. При контакте с влагой воздуха диоксид азота растворяется и диспропорционирует с образованием азотной и азотистой кислот:  
$$2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$$
4. Описанные последствия вызывает **кислотный дождь**.
5. Мрамор разрушается, потому что карбонат кальция реагирует с кислотами, содержащимися в кислотных дождях. В результате образуются растворимые соли, которые вымываются потоком воды с поверхности, и памятник постепенно разрушается:  
$$\text{CaCO}_3 + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
$$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
Возможна реакция:  
$$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
6. Так как на первой стадии очистки дымовые газы пропускают через водную суспензию карбоната кальция и образуется малорастворимый осадок **В**, а затем при избытке кислорода он переходит в вещество **Г**, широко используемое в строительстве, то **В** =  $\text{CaSO}_3$ , а **Г** =  $\text{CaSO}_4$ . Значит, **А** = **С**, **Б** =  $\text{SO}_2$ . Далее остаточное количество оксида **Б** каталитически окисляют до **Д**, тогда **Д** =  $\text{SO}_3$ . Полученный продукт поглощают концентрированной кислотой **Е** с образованием **Ж**. Это типичная схема получения олеума:  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ . Следовательно, **Е** =  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , **Ж** =  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ .  
Раствор **Е** реагирует с гидроксидом натрия с образованием соли **З**, содержащей 32,37 % натрия.

Для  $\text{NaHSO}_4$ :  $M = 23 + 1 + 32 + 64 = 120$  г/моль, доля Na равна  $23/120 = 0,1917$ , не подходит.

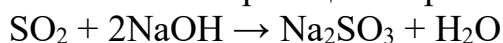
Для  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :  $M = 46 + 32 + 64 = 142$  г/моль, доля Na равна  $46/142 = 0,3239 = 32,39\%$ , что совпадает. Значит, **З** =  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Теперь определим **И** из реакции 7. При нагревании сульфата кальция он распадается на триоксид серы и оксид кальция: **И** =  $\text{CaO}$ .



7. Карбонат кальция значительно дешевле и доступнее гидроксида натрия, что особенно важно при очистке огромных объёмов дымовых газов. Кроме того, при его использовании образуется малорастворимый сульфит кальция, который легко отделяется.

8. Помимо поглощения суспензией карбоната кальция,  $\text{SO}_2$  можно отделить из газовой смеси реакцией с растворами щелочей:



Вместо щелочи иногда используют концентрированный раствор аммиака (аммиачный способ). Также применяют каталитическое окисление  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  с последующим поглощением и получением серной кислоты.

### Система оценивания:

- |                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Верная классификация 2 балла, в случае ошибки штраф по 0,5 балла за каждую ошибку, но не более 2 баллов | 2 балла   |
| 2. Реакции кислотных оксидов с водой по 0,5 балла                                                          | 1 балл    |
| 3. Реакция диспропорционирования                                                                           | 1 балл    |
| 4. Упоминание кислотных дождей                                                                             | 1 балл    |
| 5. Растворение мрамора 1 балл<br>Уравнение реакции 1 балл                                                  | 2 балла   |
| 6. Формулы веществ А–И по 1 баллу<br>Реакции 1–7 по 1 баллу                                                | 16 баллов |
| 7. Упоминание любых разумных причин 1 балл                                                                 | 1 балл    |

8. Любой разумный метод очистки 1 балл

1 балл

**ИТОГО 25 баллов**

### Задача 2. Лёгкий металл

1. Металлы, встречающиеся в самородном виде, химически малоактивны: они слабо окисляются и потому могут сохраняться в природе в виде простых веществ. Металлы, находящиеся в природе только в соединениях, более химически активны и легко образуют оксиды, сульфиды, карбонаты и другие минералы.

Примеры самородных металлов: золото **Au**, серебро **Ag**, платина **Pt**, медь **Cu**.

2. Соединение **A** – гиббсит  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Проверка по массовой доле алюминия:

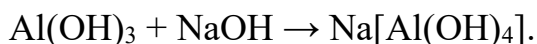
$$M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 27 + 3 \cdot 17 = 78 \text{ г/моль},$$

$$\omega(\text{Al}) = \frac{27}{78} = 0,3462$$

Тогда оксид **A** – глинозём  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

3. Теперь определим вещества **Б–Д**.

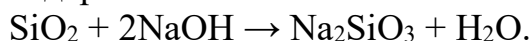
Вскрытие гиббсита горячим раствором  $\text{NaOH}$  даёт растворимую соль комплексного строения:



Бёмит имеет формулу  $\text{AlO}(\text{OH})$ . Проверим массовую долю кислорода:

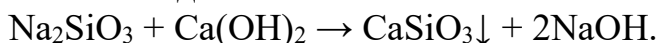
$$M(\text{AlO}(\text{OH})) = 27 + 16 + 17 = 60 \text{ г/моль}, \text{ что соответствует } 45\%$$

содержанию алюминия.



Следовательно, **Г** =  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , силикат натрия.

После добавления известкового молока образуется осадок:



Значит, **Д** =  $\text{CaSiO}_3$ . Проверка:

$$M(\text{CaSiO}_3) = 40 + 28 + 48 = 116 \text{ г/моль}, \text{ соответствует } 24,14 \% \text{ масс. кремния.}$$

Итак, **Б** =  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ , **В** =  $\text{AlO}(\text{OH})$ , **Г** =  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , **Д** =  $\text{CaSiO}_3$ .

4. Раствор **Б** при охлаждении и введении затравки разлагается с выпадением гидроксида алюминия:



Следовательно, **Е** =  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

При прокаливании:



Фторид **И** =  $\text{AlF}_3$ , именно он вместе с  $\text{NaF}$  образует криолит **Ж** =  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ .

Минерал **З** – плавиковый шпат  $\text{CaF}_2$ . Проверка по массовой доле кальция:

$$M(\text{CaF}_2) = 40 + 2 \cdot 19 = 78 \text{ г/моль}, \text{ совпадает с условием.}$$

5. Масса гиббсита в руде:

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1000 \cdot 0,720 = 720 \text{ кг.}$$

По уравнению  $2\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  из 156 г  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (2 моль) получается 102 г  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2 моль).

Тогда теоретическая масса глинозёма:

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{теор}} = 720 \cdot \frac{102}{156} = 470,8 \text{ кг.}$$

С учётом выхода 88 %:

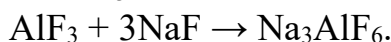
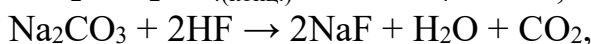
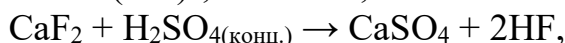
$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 470,8 \cdot 0,88 = 414,3 \text{ кг.}$$

По уравнению электролиза из 102 г  $\text{Al}_2\text{O}_3$  получается 54 г  $\text{Al}$ , следовательно

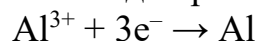
$$m(\text{Al}) = 414,3 \cdot \frac{54}{102} = 219,3 \text{ кг.}$$

6. Установлено ранее:

$\text{E} = \text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{И} = \text{AlF}_3$ ,  $\text{Ж} = \text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{З} = \text{CaF}_2$ .



7. На катоде происходит процесс:



Тогда на 1 моль  $\text{Al}$  требуется 3 моль электронов. Для 120 ванн по 180 кА при работе 24 ч и выходе по току 90,8 % получаем:

$$m(\text{Al}) = \frac{M_{\text{Al}}}{nF} \cdot N_{\text{ванн}} \cdot \eta_{\text{по току}} = \frac{27 \cdot 180000 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{3 \cdot 96500} \cdot 120 \cdot 0,908$$
$$m(\text{Al}) = 1,58 \cdot 10^8 \text{ г} = 1,58 \cdot 10^5 \text{ кг} = 158 \text{ тонн}$$

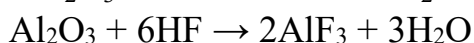
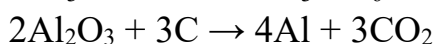
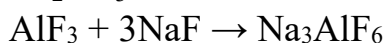
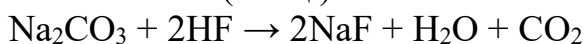
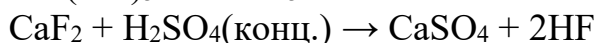
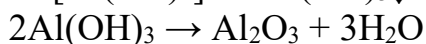
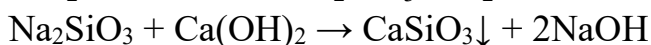
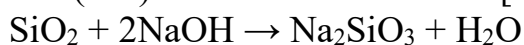
На аноде уголь окисляется до  $\text{CO}_2$ ; на 1 моль  $\text{CO}_2$  приходится 4 моль электронов. Тогда за сутки образуется

$$n(\text{CO}_2) = \frac{It}{nF} \cdot N_{\text{ванн}} \cdot \eta_{\text{по току}} = \frac{180000 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{4 \cdot 96500} \cdot 120 \cdot 0,908 = 4,39 \cdot 10^6, \text{ что}$$

при н.у. соответствует

$$V(\text{CO}_2) = V_m \cdot n(\text{CO}_2) = 22,4 \cdot 4,39 \cdot 10^6 = 9,84 \cdot 10^4 \text{ м}^3$$

8. Уравнения реакций 1–11:



**Система оценивания:**

1. Указание на разную активность 1 балл

2 балла

Пример самородных металлов (не более 2) по 0,5 балла

2. Металл X 1,5 балла

3,5 балла

|                                                     |                  |
|-----------------------------------------------------|------------------|
| Расчет оксида 1 балл                                |                  |
| Его формула 1 балл                                  |                  |
| 3. Вещества Б-Д по 1 баллу                          | 6 баллов         |
| Расчеты Б и Д по 1 баллу                            |                  |
| 4. Расчет массы руды                                | 1 балл           |
| 5. Вещества Е-И по 1 баллу                          | 5 баллов         |
| Расчет З 1 балла                                    |                  |
| 6. Масса металла и объем CO <sub>2</sub> по 1 баллу | 2 балла          |
| 7. Реакции 1-11 по 0,5 балла                        | 5,5 баллов       |
| <b>ИТОГО</b>                                        | <b>25 баллов</b> |

### Задача 3. Равновесие аммиака



Следовательно, азот и водород в стехиометрической смеси находятся в мольном, а значит и объемном, соотношении 1:3.

На 1 моль N<sub>2</sub> и 3 моль H<sub>2</sub> приходится общая масса  $m = 28 + 3 \cdot 2 = 34$  г, общее число молей равно 4, значит средняя молярная масса смеси

$$M_{\text{см}} = \frac{34}{4} = 8,5 \text{ г/моль.}$$

Тогда относительная плотность по гелию:

$$D_{He} = \frac{8,5}{4} = 2,125.$$

2. Пусть исходно взята стехиометрическая смесь: 1 моль N<sub>2</sub> и 3 моль H<sub>2</sub>, всего 4 моль газа. При степени превращения 15% прореагирует 0,15 моль N<sub>2</sub> и 0,45 моль H<sub>2</sub>, образуется 0,30 моль NH<sub>3</sub>.

После реакции:

N<sub>2</sub>:  $1 - 0,15 = 0,85$  моль,

H<sub>2</sub>:  $3 - 0,45 = 2,55$  моль,

NH<sub>3</sub>: 0,30 моль.

Общее число молей газа после реакции:

$$n = 0,85 + 2,55 + 0,30 = 3,70 \text{ моль.}$$

Объем при тех же условиях пропорционален числу молей, значит

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{3,70}{4,00} = 0,925.$$

Следовательно, объем уменьшится на 7,5%. Для 4 м<sup>3</sup> получаем:

$$V_2 = 4 \cdot 0,925 = 3,70 \text{ м}^3.$$

3. Реакция синтеза аммиака экзотермическая, поэтому **при повышении температуры равновесие смещается влево**, в сторону исходных веществ. Однако в промышленности используют 400–500 °С, потому что при низкой температуре реакция идет слишком медленно. Высокая температура нужна для приемлемой скорости процесса; это компромисс между равновесным выходом и скоростью.

4. До начала реакции в стехиометрической смеси мольная доля азота равна

$$\chi(N_2) = \frac{1}{1+3} = \frac{1}{4}.$$

Тогда его парциальное давление:

$$P(N_2) = \chi(N_2) \cdot P_{\text{общ}} = 0,25 \cdot 250 = 62,5 \text{ атм.}$$

5. Пусть равновесная степень превращения азота равна  $\alpha$ . Тогда из исходной смеси 1 моль  $N_2$  и 3 моль  $H_2$  в равновесии получаем:

$N_2$ :  $1 - \alpha$ ,

$H_2$ :  $3 - 3\alpha$ ,

$NH_3$ :  $2\alpha$ .

Общее число молей:

$$n_{\text{общ}} = 4 - 2\alpha.$$

Тогда мольные доли:

$$\chi(N_2) = \frac{(1 - \alpha)}{(4 - 2\alpha)},$$

$$\chi(H_2) = \frac{(3 - 3\alpha)}{(4 - 2\alpha)},$$

$$\chi(NH_3) = \frac{2\alpha}{(4 - 2\alpha)}.$$

Парциальные давления:

$$P(N_2) = \frac{250 \cdot (1 - \alpha)}{(4 - 2\alpha)},$$

$$P(H_2) = \frac{250 \cdot (3 - 3\alpha)}{(4 - 2\alpha)},$$

$$P(NH_3) = \frac{250 \cdot 2\alpha}{(4 - 2\alpha)}.$$

Подставляем в выражение

$$K_p = \frac{P^2(NH_3)}{P^3(H_2) \cdot P(N_2)} = 1,6 \cdot 10^{-4}.$$

Получаем  $\alpha \approx 0,558$ . Значит, равновесная степень превращения равна примерно 55,8%. Состав газа на выходе из колонны синтеза до конденсации:

$N_2$ :  $1 - 0,558 = 0,442$ ,

$H_2$ :  $3 - 3 \cdot 0,558 = 1,327$ ,

$NH_3$ :  $2 \cdot 0,558 = 1,115$ .

$$n_{\text{общ}} = 2,885.$$

Мольные доли:

$$\chi(N_2) = \frac{0,442}{2,885} \approx 0,153,$$

$$\chi(H_2) = \frac{1,327}{2,885} \approx 0,460,$$

$$\chi(NH_3) = \frac{1,115}{2,885} \approx 0,387.$$

6. После полной конденсации и удаления аммиака остаются только  $N_2$  и  $H_2$ . Их количества равны 0,442 и 1,327 моль, то есть **отношение сохраняется 1:3**.

7. Процесс проводят при высоком давлении, потому что в реакции  $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$  число молей газа уменьшается с 4 до 2. По принципу Ле Шателье **повышение давления смещает равновесие вправо**, в сторону аммиака. Это же видно и из выражения для  $K_p$ : при постоянной температуре  $K_p$  не меняется, поэтому при увеличении общего давления система должна сместиться в сторону меньшего числа молей газа, чтобы сохранить значение константы.
8. Если увеличить вдвое массу катализатора, равновесный выход аммиака не изменится, потому что **катализатор не смещает равновесие**, а только ускоряет его установление. Если использовать катализатор с меньшим размером гранул, равновесный выход тоже не изменится, но скорость процесса возрастет, так как увеличится поверхность контакта.

### Система оценивания:

- |                                                                                                                                          |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Реакция <i>1 балл</i>                                                                                                                 | <b>3 балла</b>  |
| Отношение газов по молям/объему <i>1 балл</i>                                                                                            |                 |
| Плотность смеси <i>1 балл</i>                                                                                                            |                 |
| 2. Расчёт материального баланса для каждого вещества <i>по 1 баллу</i>                                                                   | <b>4 балла</b>  |
| Изменение объема <i>1 балл</i>                                                                                                           |                 |
| 3. Логичное объяснение <i>1 балл</i>                                                                                                     | <b>4 балла</b>  |
| Упоминание принципа Ле Шателье <i>1 балл</i>                                                                                             |                 |
| Упоминание скорости химической реакции <i>1 балл</i>                                                                                     |                 |
| 4. Мольная доля азота <i>1 балл</i>                                                                                                      | <b>2 балла</b>  |
| Расчет парциального давления <i>1 балла</i>                                                                                              |                 |
| 5. Введение степени превращения и выражения для равновесных количеств <i>3 балла</i>                                                     | <b>6 баллов</b> |
| Выражение для парциальных давлений <i>1 балла</i>                                                                                        |                 |
| Составление уравнения через $K_p$ <i>1 балл, если выражение содержит парциальное давление азота во второй степени - баллы не снижать</i> |                 |
| Степень превращения <i>1 балл</i>                                                                                                        |                 |
| 6. правильный состав после удаления аммиака <i>2 балла</i>                                                                               | <b>2 балла</b>  |
| 7. Логичное обоснование <i>2 балла</i>                                                                                                   | <b>2 балла</b>  |
| 8. Логичное обоснование <i>2 балла</i>                                                                                                   | <b>2 балла</b>  |

**ИТОГО 25 баллов**

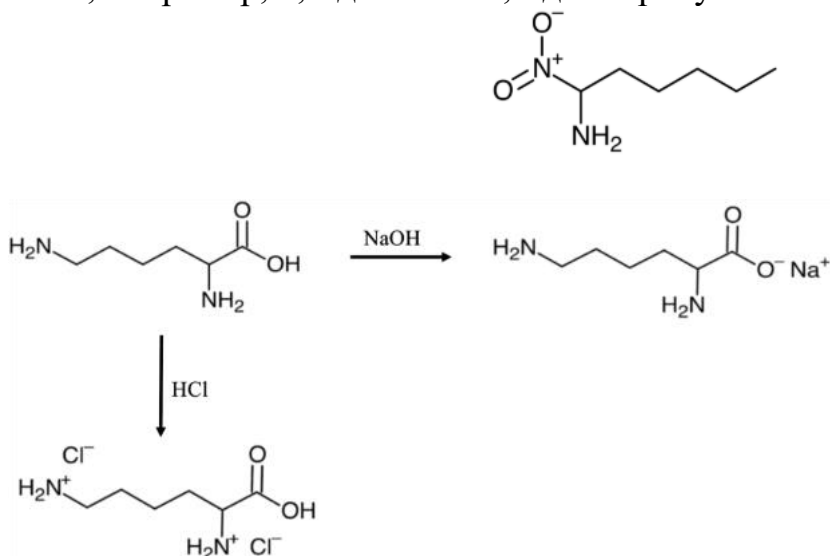
### **Задача 4. Незаменимая аминокислота для сельского хозяйства**

1. Аминокислоты встречаются во всех живых организмах. Они входят в состав **белков** и пептидов, из них построены **ферменты**, многие **гормоны** и другие

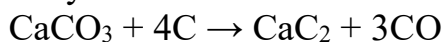
биологически важные вещества. Они участвуют в обмене веществ и обеспечивают рост и восстановление тканей.

2. Простейшая аминокислота, 2-аминоуксусная кислота, имеет структурную формулу  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ . Её тривиальное название – **глицин**.
3. **2,6-диаминогексановая кислота**.
4. Аминокислоты могут быть межклассово изомерны нитросоединениям, амидам, сложным эфирам карбоновых кислот, а также другим соединениям с тем же молекулярным составом.

Для лизина с формулой  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_2$  одним из межклассовых изомеров может быть, например, 2,3-диметил-1,4-динитробутан:



- 5.
6. По условию известняк **А** спекают с коксом **Б** при высокой температуре. Это получение карбида кальция **В**:



Гидролиз карбида кальция:

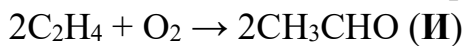


Основной компонент природного газа **Г** – метан  $\text{CH}_4$ . Его ближайший гомолог **Д** – этан  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

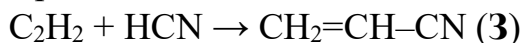
Пиролиз этана:



Окисление этилена по Вакер-процессу даёт ацетальдегид:



Присоединение  $\text{HCN}$  к ацетилену в присутствии  $\text{CuCl}_2$ :



**И** и **З** вступают в реакцию присоединения, при этом получается соединение без кратных связей  $\text{C}-\text{C}$ . Это циангидрин Михаэля. При восстановлении **К** водородом на  $\text{Pd}/\text{C}$  нитрильная группа переходит в аминогруппу.

Полученный альдегид **Л** в дальнейшем вступает в реакцию Штрекера, образуя **М**. Конечный гидролиз цианидной группе приводит к целевому продукту.

Следовательно:

**А** =  $\text{CaCO}_3$ ,

**Б** =  $\text{C}$ ,

**В** =  $\text{CaC}_2$ ,

**Г** =  $\text{CH}_4$ ,

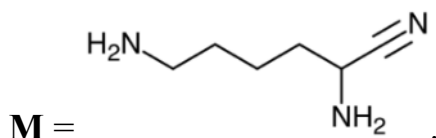
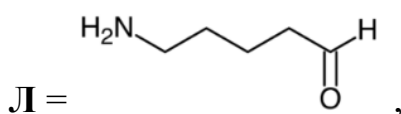
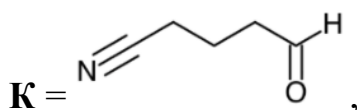
**Д** =  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,

**Е** =  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,

**Ж** =  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,

**З** =  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ ,

**И** =  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ,



7. Биотехнологический способ эффективнее и безопаснее, чем чисто химический, потому что он идёт в мягких условиях – при невысокой температуре, обычном давлении и без использования высокотоксичных реагентов типа  $\text{HCN}$ . Кроме того, ферментативный синтез высокоселективен и сразу даёт нужный природный L-изомер лизина, который и усваивается организмами, тогда как при химическом синтезе часто образуется смесь стереоизомеров. Также биотехнология использует возобновляемое сырьё – углеводы зерна, а не нефтегазовые продукты.

**Система оценивания:**

- |                                                                                      |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. Биологическая роль аминокислот                                                    | <b>1 балл</b>    |
| 2. Формула глицина 1 балла                                                           | <b>2 балла</b>   |
| Тривиальное название 1 балла                                                         |                  |
| 3. Название по ИЮПАК                                                                 | <b>1 балл</b>    |
| 4. Классы возможных изомеров 1 балл                                                  | <b>2 балла</b>   |
| Корректный пример 1 балл                                                             |                  |
| 5. Реакции по 1,5 балла                                                              | <b>3 балла</b>   |
| 6. Верно определены А–К по 1 баллу                                                   | <b>14 баллов</b> |
| Верно определены Л и М по 2 балла                                                    |                  |
| 7. Приведены корректные аргументы целесообразности биологического синтеза по 1 баллу | <b>2 балла</b>   |

**ИТОГО 25 баллов**