

• Пульсационный биореактор может применяться в качестве блока биологической очистки для локальных очистных сооружений молокоперерабатывающих предприятий;

• С целью создания благоприятных условий для протекания процесса биологической очистки в технологическую схему локальных очистных сооружений молокоперерабатывающих предприятий перед блоком биологической очистки рекомендуется включать резервуар-усреднитель.

Таким образом, в ходе проведения исследований была изучена возможность и подтверждена целесообразность применения пульсационного биореактора в качестве блока биологической очистки на локальных очистных сооружениях молокоперерабатывающих предприятий для очистки производственных сточных вод до норм сброса в городскую канализацию, были определены основные технологические параметры процесса биологической очистки, которые можно использовать при разработке технологической схемы локальной очистки, а также при проектировании биореактора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яковчиц М.В. Методы и сооружения для очистки производственных сточных вод молокоперерабатывающих предприятий от органических загрязнений / Брестский гос. техн. ун-т. – Брест, 2003. – 20 с. – Деп. В БелИСА 9.06.03 - № Д200342 // Реф. сборник неопубликуемых работ №1(27).
2. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов / Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Калицун В.И. – М.: Стройиздат, 1996. – 591 с.

3. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л., Побегайло Ю.П. и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
4. Пат. 810 ВУ, МКИ С 02F 3/10. Устройство для биологической очистки сточных вод / В.Н. Яромский, М.В. Яковчиц № u20020178; заявл. 17.06.2002; Опубл. 30.03.2003/ Гос. реестр полезн. моделей.
5. Яромский В.Н., Яковчиц М.В. Определение основных параметров биохимической очистки в пульсационных биореакторах. // Вестник Брестского государственного технического университета – Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. 2002. №2(14) – с. 55 – 56.
6. Яромский В.Н., Яковчиц М.В. Влияние режима работы пульсационного биореактора на объемный коэффициент массопередачи. // Техника и технология защиты окружающей среды: Материалы конференции / Бел. гос. технол. ун-т. – Минск, 2002. – с. 55 – 57.
7. Методика проведения технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. – М.: Стройиздат, 1971 г. – 231 с.
8. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. – М.: Высшая школа, 1978. – 271 с.
9. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.
10. СНиП 2.03.04-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.

УДК 628. 337

Яловая Н.П., Строкач П.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Электрохимические методы очистки воды, одним из которых является метод электрокоагуляции, основанный на полуреакции сорбента (гидроксида алюминия или железа) в процессе анодного растворения алюминиевых или железных электродов, относят к наиболее экологически чистым технологиям водоподготовки. Гидроксид алюминия, получаемый электрохимическим растворением металла, обладает высокой сорбционной активностью по отношению к загрязнениям воды, особенно к SiO_2 [1]. Использование данного процесса позволяет эффективно удалять из воды взвешенные и органические вещества, железо, кремний, фитопланктон, бактерии и другие загрязнения [2]. В процессе электрохимической очистки снижается содержание кислорода в воде [3], вода не обогащается растворимыми солями, так как дозируемый алюминий полностью удаляется из воды в виде гидроксида осветлением. Применение этого метода не требует высококвалифицированного обслуживания, позволяет отказаться от складских помещений и громоздкого реагентного хозяйства; его можно осуществлять в легко управляемой компактной и автоматически действующей установке (рис. 1).

В результате интенсивных исследований в последние годы метод электрокоагуляции находит все более широкое применение для очистки питьевых и сточных вод.

Целью наших исследований явилось изучение влияния физико-химических, электрических и гидродинамических факто-

ров на очистку воды методом электрокоагуляции от взвешенных веществ, железа, кислорода, кремния, фитопланктона и других загрязнений, определение основных технологических параметров процесса, а также выявление условий применения данного метода для предварительной очистки воды с минимальными расходами алюминия и электроэнергии.

Исследования проводились на воде р. Мухавец в электролизере из органического стекла вместимостью $1,5 \text{ дм}^3$. Алюминиевые аноды и катоды из нержавеющей стали собирали пакет с расстоянием между пластинами 5 мм. Площадь рабочей поверхности анодов составляла 1050 см^2 . Для изменения мутности воды готовили эталонные замутнители по стандартным методикам, изменение цветности производили почвенной вытяжкой. Концентрацию кремниевой кислоты и железа в воде регулировали введением в речную воду силиката натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9 \text{ H}_2\text{O}$ («хч») и сульфата железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ («хч»), показатели содержания фитопланктона в воде изменяли введением культуры синезеленых водорослей *Mikrocystis aeruginosa*.

Влияние величины pH на процесс удаления высокодисперсных частиц мутности, веществ, обуславливающих цветность воды, железа, кремния, кислорода и фитопланктона изучали подкислением или подщелачиванием исходной воды 0,1 н. растворами H_2SO_4 или NaOH. Водородный показатель определяли при помощи иономера И-130.2М-1. Температуру

Яловая Наталья Петровна, доцент каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Строкач Петр Павлович, к.т.н., профессор, зав. каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета, Член-корреспондент Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

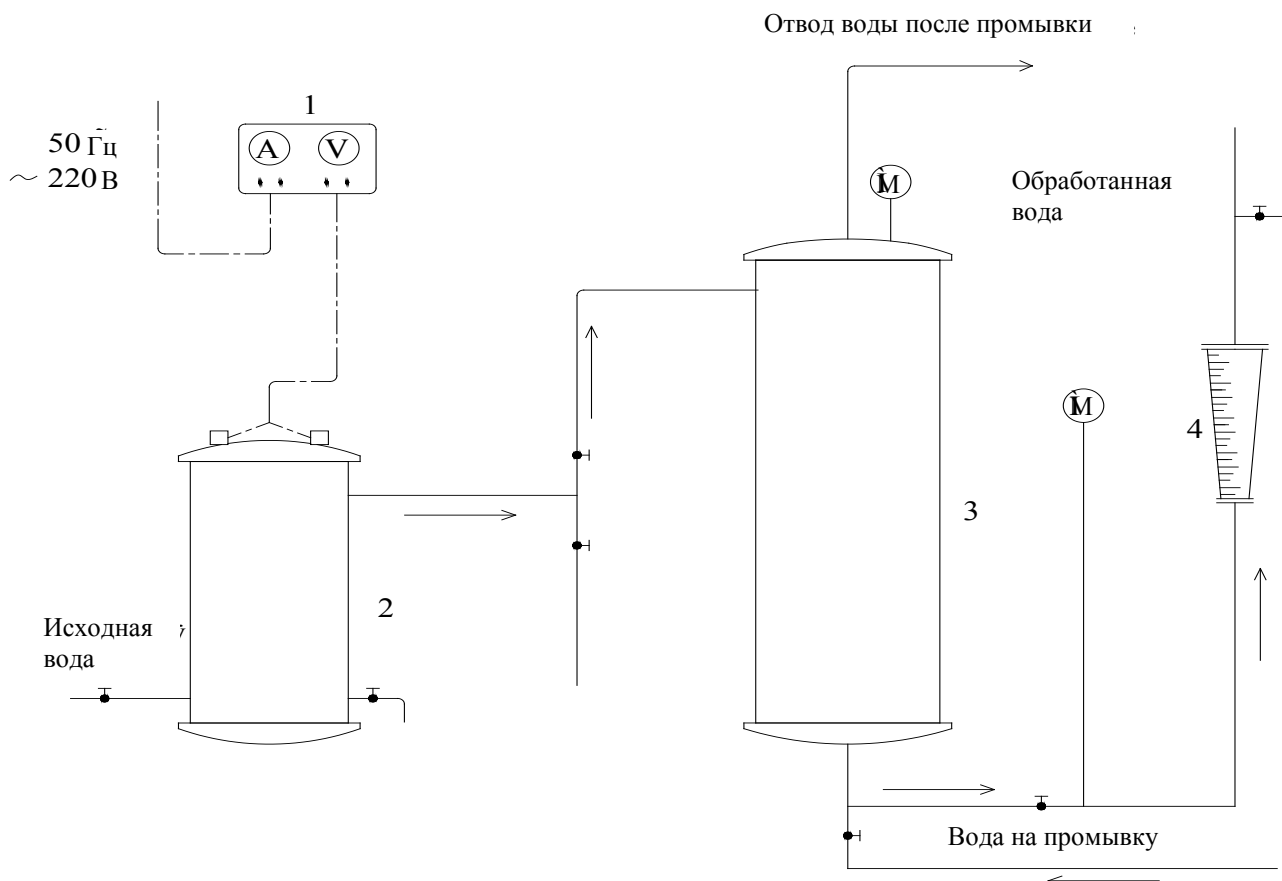


Рис. 1. Схема установки: 1 — выпрямитель; 2 -электролизер; 3 — напорный фильтр; 4 — ротаметр

Таблица 1. Влияние температуры на качество воды, прошедшей электрохимическую обработку

Показатели качества воды	Исследуемая вода		После электрокоагуляции при температуре, °С								
	р. Му-хавец	с добавленными загрязнениями	+5	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70	+80
Цветность, град	70	110	13	13	12	11	11	10	10	9	9
Мутность, мг/дм ³	65	150	9	8	6	6	5,5	5,5	5,5	5	5
Кремний, мг/дм ³	14,2	21,4	7,5	7,4	7,2	7,1	6,8	6,8	6,7	6,8	7,5
Железо, мг/дм ³	1,2	10,2	4,2	4,0	4,0	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	4,0
Кислород, мг/дм ³	8,2	8,5	4,5	3,6	3,15	2,6	1,8	1,35	1,1	0,37	0,32
Фитопланктон, кл/см ³	38000	38000	1000	950	680	520	430	170	0	0	0

Примечание. Доза Al³⁺ 5 мг/дм³; плотность тока 2 мА/см²; рН 7,0.

воды изменяли от +5 до +80°С термостатированием. Вода в электролизер поступала из бака вместимостью 100 л, расход воды через электролизер регулировали от 1 до 300 дм³/ч. Остаточные железо, кремний, мутность, цветность в отфильтрованной воде определяли фотоколориметрически на КФК-3, кислород — на термооксиметре НИ 9142.

Изучение влияния изменения температуры исходной воды от +5 до +80 °С (табл. 1) на удаление загрязнений показало, что гидроксид алюминия, полученный электрохимическим методом, обладает высокими сорбционными свойствами по отношению к исследованным загрязнениям в широком диапазоне изменения температуры. Однако следует отметить, что наиболее благоприятно протекает процесс удаления загрязнений при температуре +20 °С и выше.

Способность электрохимически полученного гидроксида алюминия сорбировать загрязнения из воды в широких пределах изменения температуры выгодно отличает его от хими-

ческих коагулянтов, например таких, как сульфат алюминия, технологические свойства которого при низкой температуре воды резко ухудшаются.

Влияние активной реакции исходной воды на эффективность ее электрохимической обработки изучалось в интервале рН от 3,7 до 10,3. Установлено, что оптимальные значения рН при обескремнивании воды находятся в пределах 6,5-9,0 (рис.2); наилучший эффект обезжелезивания достигается при рН 8,2 и выше; оптимальное обесцвечивание, удаление клеток фитопланктона и мелкодисперсных частиц мутности из воды наблюдается при рН от 4 до 7; на процесс обескислороживания воды величина рН не оказывает значительного влияния.

Изучение влияния мутности и цветности воды на эффективность ее обескремнивания и обезжелезивания показало, что высокодисперсные глинистые частицы (крупностью 1 - 4 мкм), обуславливающие мутность поверхностных вод, улучшают процесс, а повышенное содержание в воде гумусовых

Таблица 2. Влияние мутности и цветности воды на эффект ее обезжелезивания

Расход обрабатываемой воды, $\text{дм}^3/\text{ч}$	Доза алюминия, $\text{мг}/\text{дм}^3$	Остаточная концентрация железа ($\text{мг}/\text{дм}^3$) при различной мутности (М) и цветности (Ц) воды		
		М = 5 $\text{мг}/\text{л}$, Ц = 30 град.	М = 5 $\text{мг}/\text{л}$, Ц = 150 град.	М = 100 $\text{мг}/\text{л}$, Ц = 30 град.
200	1,5	17,2	17,8	16,2
100	3,0	13,9	14,2	12,8
60	5,0	11,2	11,5	9,9
30	10,0	6,6	6,3	4,7
15	20,0	0,3	0,5	0,0
8	37,0	0,0	0,0	0,0

Примечание. Во всех опытах исходное содержание железа составляло $25 \text{ мг}/\text{дм}^3$, рН воды - 6,8; электролиз проводился при плотности тока $2 \text{ мА}/\text{см}^2$.

Таблица 3. Влияние электрических и гидродинамических условий на эффективность электрохимической обработки воды

Основной технологический параметр процесса	Скорость движения воды, м/ч						
	80	60	30	15	7,5	3,5	1,5
<i>Плотность тока 10 мА/см²</i>							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,23	0,30	0,60	0,99	2,0	-	-
Доза Al^{3+} , мг/дм ³	5,1	7,5	15,0	25,0	50,0	-	-
Кремний, мг/дм ³ SiO_2	15,9	15,5	9,85	6,1	1,3	-	-
Железо общее, мг/дм ³	10,2	9,05	3,35	0,0	0,0	-	-
Кислород, мг/дм ³	3,4	3,2	1,35	0,0	0,0	-	-
<i>Плотность тока 5 мА/см²</i>							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,06	0,08	0,15	0,25	0,50	1,1	-
Доза Al^{3+} , мг/дм ³	2,9	3,8	7,5	12,5	25,0	50,0	-
Кремний, мг/дм ³ SiO_2	18,9	19,8	13,5	8,8	4,5	0,3	-
Железо общее, мг/дм ³	15,5	13,2	9,2	4,3	0,0	0,0	-
Кислород, мг/дм ³	3,8	3,65	2,1	0,49	0,0	0,0	-
<i>Плотность тока 2 мА/см²</i>							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,01	0,01	0,03	0,05	0,10	0,20	0,5
Доза Al^{3+} , мг/дм ³	1,2	1,5	3,0	5,0	10,0	20,0	50,0
Кремний, мг/дм ³ SiO_2	25,5	24,2	18,9	14,8	8,8	4,1	0,0
Железо общее, мг/дм ³	20,5	18,2	14,5	11,8	7,0	0,3	0,0
Кислород, мг/дм ³	4,7	4,22	3,1	1,87	0,57	0,0	-
<i>Плотность тока 1 мА/см²</i>							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,003	0,004	0,007	0,013	0,03	0,05	0,14
Доза Al^{3+} , мг/дм ³	0,6	0,8	1,5	2,5	5,0	10,0	25,0
Кремний, мг/дм ³ SiO_2	25,9	31,1	25,2	20,1	14,8	9,1	4,3
Железо общее, мг/дм ³	23,0	19,9	17,9	15,4	12,0	7,1	0,0
Кислород, мг/дм ³	%,2	4,77	4,0	2,56	1,88	1,0	0,0
<i>Плотность тока 0,5 мА/см²</i>							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,001	0,001	0,002	0,004	0,008	0,016	0,041
Доза Al^{3+} , мг/дм ³	0,3	0,4	0,8	1,3	2,5	5,0	12,5
Кремний, мг/дм ³ SiO_2	35,1	28,4	25,9	21,1	19,0	15,1	8,0
Железо общее, мг/дм ³	23,9	23,4	21,1	19,2	14,9	9,9	5,0
Кислород, мг/дм ³	4,8	4,76	4,52	3,86	2,89	1,72	0,53

Примечание. Содержание кремния в исходной воде составляло $40 \text{ мг}/\text{дм}^3$, железа (II) - $25 \text{ мг}/\text{дм}^3$, кислорода - $5,3 \text{ мг}/\text{дм}^3$, рН - 7,0.

веществ ухудшает его. Так, при увеличении мутности исходной воды с 5 до $100 \text{ мг}/\text{дм}^3$ эффективность обескремнивания возрастает с 38 до 48,2 %, а обезжелезивания — с 20,0 до 32,5 % (табл. 2). Улучшение процессов обескремнивания и обезжелезивания воды при увеличении ее мутности объясняется дополнительной сорбционной способностью высокодисперсных глинистых частиц, которые интенсифицируют процесс коагуляции гидроксида алюминия, способствуя образованию более крупных и прочных хлопьев [4].

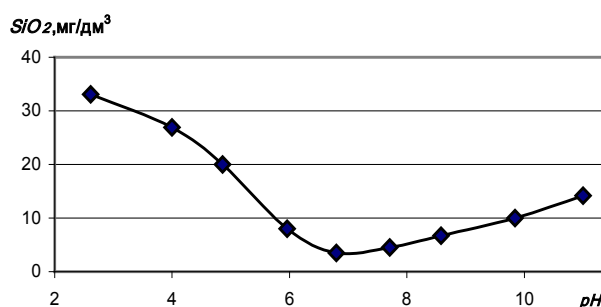


Рис. 2. Влияние pH на эффект электрохимического обескремнивания.

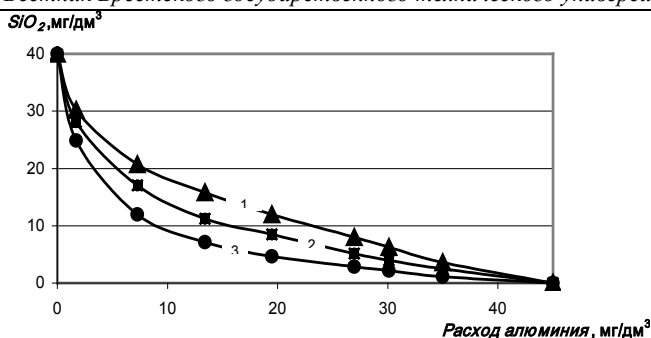


Рис. 3. Влияние цветности воды на процесс удаления кремния электрохимическим методом.

Цветность воды 80 (кривая 1), 60 (2), 26 (3) град.

Возрастание остаточного содержания кремния и железа с повышением цветности воды (рис. 3) объясняется экранированием части адсорбционно-активной по отношению к кремнию и железу поверхности гидроксида алюминия гумусовыми соединениями [2].

Результаты исследований по влиянию на процесс обескремнивания, обезжелезивания и обескислороживания воды гидродинамических факторов и плотности тока на электродах представлены в табл. 3. Установлено, что эффективность удаления кремния, железа и кислорода в воде в динамических условиях повышается. Изменение скорости движения воды по отношению к поверхности электродов от 1,5 до 80 м/ч на эффект обескремнивания и обезжелезивания почти не влияет; он зависит в основном от дозы гидроксида алюминия, сорбирующего кремний и железо; обескислороживание при увеличении скорости движения воды ухудшается.

Так как удаление кислорода из воды связано в основном с его катодной ионизацией ($O_2 + 4e^- + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$) и химическим окислением алюминия ($4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$), то ухудшение процесса обескислороживания с возрастанием скорости движения воды можно объяснить замедлением реакции ионизации [3]. Последнее связано с тем, что не весь кислород, содержащийся в воде, успевает подойти к катодной поверхности и часть воды уходит с начальным содержанием кислорода.

УДК 628.337

Строкач П.П., Яловая Н.П., Яловая Ю.С.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ МУХАВЕЦ

Среди многих проблем современности есть одна, которая никогда не теряет своей актуальности – это проблема охраны и загрязнения водных ресурсов для настоящих и будущих поколений. Несмотря на то, что запасы ресурсов гидросферы на земном шаре составляют ~1,5 млрд. км³, на пресную воду приходится около 2%, остальная вода соленая, непригодная для питьевых и промышленных целей. 2% – это много или мало? Можно ответить так: достаточно, чтобы обеспечить население и производство пресной водой. Однако эти водные ресурсы либо распределены на планете неравномерно, либо загрязнены.

Республика Беларусь достаточно обеспечена водными ресурсами. Для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения могут использоваться поверхностные и подземные воды. Поверхностные воды, как правило, содержат большее количество загрязняющих веществ, подземные – меньшее.

Для нас представляло интерес провести экологический мониторинг р. Мухавец и оценить возможность использования ее воды по отдельным показателям для хозяйственно-

питьевого и промышленного водоснабжения. С увеличением плотности тока резко увеличивается расход электроэнергии, а эффективность удаления кремния и железа из воды снижается, обескислороживание воды несколько возрастает. Приемлемой величиной плотности тока следует считать 1-2 мА/см², а напряжения на электродах – 2,5 - 4 В.

Наиболее экономично использовать данный процесс для освобождения воды от основной массы загрязнений (60-80%). В этом случае при небольших расходах алюминия и электроэнергии достигается резкое снижение содержания в воде кремния, железа, цветности, мутности, фитопланктона и кислорода. При небольших расходах обрабатываемой воды электрохимический метод может использоваться и для глубокого удаления загрязнений из воды. В последнем случае потребуются повышенные расходы алюминия и электроэнергии. Например, для полного обескремнивания исходной воды с содержанием 40 мг/л SiO₂ при плотности тока 2 мА/см² расход алюминия составил 50 г/м³, а электроэнергии – 0,6 квт · ч/м³.

Исследования показали, что данный метод высокоэффективен, имеет ряд экологических преимуществ перед химическими методами очистки: вода дополнительно не обогащается ионами солей, меньше образуется отходов, упрощается технология, уменьшаются производственные площади и складские помещения. Метод может успешно использоваться для предварительной подготовки воды ряда промышленных предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яловая Н.П. Исследование процесса электрохимического обескремнивания поверхностных вод // Вестник БГТУ. Физика, математика, химия. – 2003. -№ 5(23). – с.91-93.
2. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод: учебник для вузов. – К.: Высш. школа. Головное изд-во, 1986. – 352 с.
3. Яловая Н.П., Строкач П.П. Исследование влияния физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на процесс обескислороживания поверхностных вод // Вестник БГТУ. Физика, математика, химия. – 2003. -№ 5(23). – с.94-96.
4. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия, 1987. - 208 с.

питьевого и промышленного водоснабжения.

Отбор проб воды производили в летне-осенний период, анализ ее качества определяли в лаборатории экологии Брестского государственного технического университета.

Для выполнения анализов применялись химические и инструментальные методы исследований: мутность воды, содержание в ней железа, кремния определяли фотометрическим методом; окисляемость, содержание растворенного кислорода, гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов – химическими методами; рН – электрометрическим методом на ионномере, цветность воды – визуальным сравнением со стандартными растворами.

Анализируя качество воды р. Мухавец по этим показателям, мы установили, что для хозяйственно-питьевых нужд без специальной подготовки ее использовать нельзя, а для промышленного водоснабжения из воды необходимо удалять многие примеси, например, соединения кремния.

Яловая Юлия Сергеевна, учащаяся лица № 1 г. Бреста.