

Рис. 5. Фактические и прогнозные уровни воды озер

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исмайылов, Г.Х., Анализ многолетних колебаний годового стока Волги/ Г.Х. Исмайылов, В.М. Федоров // Вод. Ресурсы, 2001. - Т. 28. - №5. - С. 517-525.
2. Раткович, Д. Я. Многолетние колебания речного стока/ Д.Я. Раткович// Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 255 с.
3. Логинов, В.Ф. Изменение испарения с водной поверхности на территории Белоруссии/ В.Ф. Логинов, А.А. Волчек// География и природные ресурсы. - №2, 2005. - С. 137-144.
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. - М.: Мир, 1974. - Вып. 1. - 406 с.
5. Логинов, В.Ф. Изменение ветрового режима на территории Беларуси в XX в./ В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Г.В. Волобуева// Природные ресурсы, 2005. - №4. - С. 5-12.

Материал поступил в редакцию 23.04.08

#### VOLCHECK A.A., VLASOV B.P. Existential fluctuations of water levels for the lakes of belarus in conditions of the changing climate

The generalized researches of fluctuations of levels for the lakes of Belarus are stated. It is drawn a conclusion on presence of statistically significant changes in dynamics of mid-annual water levels for separate lakes of Belarus caused both by natural-climatic, and by anthropogenous changes of the hydrological cycle.

УДК 628.337

Яловая Н.П.

## УЛУЧШЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЕЙ

### ВВЕДЕНИЕ

При водоподготовке особое внимание отводится процессам обеззараживания. По данным эпидемиологических и вирусологических наблюдений, кишечные вирусы, в особенности энтеровирусы, могут содержаться даже в питьевой воде систем централизованного водоснабжения.

Вода, загрязненная кишечными вирусами, является причиной распространения таких заболеваний, как полиомиелит, серозный менингит, гепатиты, гастроэнтериты, кератоконъюнктивитная лихорадка и др.

Поэтому заключительным этапом улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых нужд является ее обеззараживание. Постоянно обеззараживают воду из поверхностных водных объектов, подземные воды в большинстве случаев подают без обеззараживания.

Процесс обеззараживания воды контролируют, определяя общее число бактерий и количество бактерий группы кишечной палочки в 1 дм<sup>3</sup> воды после ее обеззараживания.

Согласно требованиям СанПиНа 10-124 РБ 99 [1] безопасность питьевой воды в эпидемиологическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям.

Метод обеззараживания воды следует выбирать с учетом расхода и качества воды, эффективности ее очистки, надежности обеззараживания, технико-экономических соображений, возможности автоматизации процесса, механизации трудоемких работ, условий поставки и хранения реагентов.

Обеззараживание воды на коммунальных и промышленных водопроводах может быть достигнуто применением ряда окислителей: хлора, гипохлорита натрия, хлораминов, хлорной извести, озона, перманганата калия, йода и др., действии ультрафиолетового и ионизирующего излучения, ультразвуковых колебаний, кипячении, фильтровании и т. д. [2].

### АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Существующая практика дезинфекции питьевой воды в большинстве развитых стран, например, в США, распределяется следующим образом: 98,6% питьевой воды подвергается хлорированию, озонированию

вание составляет только 0,37%, остальные методы - 0,75%. Причина состоит в том, что хлорирование - наиболее экономичный и эффективный метод обеззараживания питьевой воды в сравнении с любыми другими известными методами. Одним из недостатков хлорирования воды является образование токсичных и опасных побочных продуктов - галогенсодержащих соединений (ГСС).

В работах [3,4] отмечается, что электрохимическим методом вода эффективно обеззараживается, а образующийся в процессе электролиза коагулянт гидроксид железа сорбировал не только взвешенные вещества, но и бактерии.

Применение электрокоагуляционного метода обеспечило высокий эффект удаления из воды практически всех ГСС, при этом концентрация хлороформа снизилась в 6 раз при содержании в исходной воде 5 ПДК, хлорпикрина - в 7 раз даже при низком уровне загрязнения (5 мкг/дм<sup>3</sup>), а другие ГСС были полностью удалены из воды.

Электрохимическому обеззараживанию природной воды уделено внимание в работе [5]. При пропускании исходной воды через электролизер с алюминиевым анодом микробное число снижалось на 40-45%, а при повышенных затратах электроэнергии вода обеззараживалась полностью. Достигнуть эффективного удаления из поверхностных вод водорослей также возможно применением электрохимических методов. Так, при обработке воды, содержащей 1 610 клеток водорослей в 1 мл воды, электрокоагуляционно полученным коагулянтном гидроксидом железа их количество уменьшается на 95%.

Исследования по получению и использованию анодных растворов серебра для обеззараживания и консервирования воды проведены В.А. Слипченко, А.П. Мажаревским, Л.А. Кульским [6]. Эта технология используется на морском и речном транспорте, в пищевой промышленности на Украине.

Широкое применение в последние годы получил электрохимический метод обеззараживания воды с применением графитовых, медных, угольных, платиновых и др. электродов [7-11]. Например, для улучшения микробиологических и паразитологических показателей качества питьевой воды в ряде домов отдыха России внедрены установки для электрохимического обеззараживания природных вод [12]. После электрокоагуляционной обработки в электролизерах с угольными электродами вода характеризовалась высокими физико-химическими и бактериологическими показателями.

Яловая Наталья Петровна - доцент кафедры инженерной экологии и химии УО «Брестский государственный технический университет», ул. Московская, 267, УО БрГТУ, 224017, г. Брест, Беларусь.

**Таблица 1.** Влияние температуры  $t$  на процесс электрокоагуляционного удаления из воды фитопланктона

$t, ^\circ\text{C}$	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$C_{\text{фит.}}^{\text{ост.}}$ , кл/см <sup>3</sup>	6000	6000	5900	5750	5600	5100	3500	2000	0	0

Примечание:  $C_{\text{фит.}}^{\text{исх.}} = 10\,000$  кл/см<sup>3</sup>;  $D^{\text{Al}^{3+}} = 1,0$  мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{pH} = 7,9$ ;  $i = 2,5$  мА/см<sup>2</sup>

**Таблица 2.** Влияние величины водородного показателя  $\text{pH}$  на эффективность удаления  $\Delta$  из воды фитопланктона методом электрокоагуляции

$\text{pH}$	3,0	4,5	6,0	7,0	8,0	9,5	11,0
$C_{\text{фит.}}^{\text{ост.}}$ , кл/см <sup>3</sup>	900	2 940	4 520	5 000	4 920	3 880	2 690
$\Delta, \%$	91	70,6	54,8	50	50,8	61,2	73,1

Примечание:  $C_{\text{фит.}}^{\text{исх.}} = 10\,000$  кл/см<sup>3</sup>;  $D^{\text{Al}^{3+}} = 1,0$  мг/дм<sup>3</sup>;  $t = 18$  °C;  $i = 2,5$  мА/см<sup>2</sup>.

**Таблица 3.** Эффективность удаления  $\Delta$  из воды фитопланктона реагентным и электрокоагуляционным методами при различных дозах алюминия

$D^{\text{Al}^{3+}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C_{\text{фит.}}^{\text{ост.}}$ при реагентном коагулировании, кл/см <sup>3</sup>	$\Delta, \%$	$C_{\text{фит.}}^{\text{ост.}}$ при электрокоагуляции, кл/см <sup>3</sup>	$\Delta, \%$
0,5	9 500	5	7 000	30
1,0	9 000	10	5 900	41
2,5	7 500	25	3 500	65
5,0	6 000	40	1 800	82
7,5	4 500	55	800	92
10,0	3 500	65	0	100

Примечание:  $C_{\text{фит.}}^{\text{исх.}} = 10\,000$  кл/см<sup>3</sup>;  $t = 18$  °C;  $\text{pH} = 7,9 - 8,2$ ;  $i = 2,5$  мА/см<sup>2</sup>.

**Таблица 4.** Влияние плотности тока  $i$  на удаление из воды фитопланктона

$i, \text{мА/см}^2$	$C_{\text{фит.}}^{\text{ост.}}$ , кл/см <sup>3</sup> , кл/см <sup>3</sup>	$\Delta, \%$
0,5	8 000	20
1,0	7 000	30
2,0	5 800	42
3,0	5 000	50
4,0	4 250	57,5
5,0	4 000	60
7,5	3 000	70
10,0	2 500	75

Примечание:  $C_{\text{фит.}}^{\text{исх.}} = 10\,000$  кл/см<sup>3</sup>;  $t = 18$  °C;  $\text{pH} = 7,9-8,2$ ;  $i = 2,5$  мА/см<sup>2</sup>.

Однако, несмотря на полученные отдельные высокие результаты по удалению микроорганизмов и фитопланктона электрокоагуляцией, в известных работах нет оптимальных параметров процесса, позволяющих эффективно проводить очистку природной воды при различных условиях и качестве исходной воды.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЕЙ

Массовое развитие фитопланктона, наличие в воде бактерий и других микроорганизмов – это один из факторов значительного ухудшения качества питьевой воды по микробиологическим показателям, получаемой из поверхностных источников водоснабжения.

Для разработки комплексного электрокоагуляционного метода очистки поверхностных вод от загрязнений нами изучалась возможность эффективного обеззараживания воды при оптимальных величинах  $\text{pH}$  и температуре воды, дозе алюминия и плотности тока.

Исследования по удалению из воды фитопланктона проводились в электролизере с рабочей поверхностью растворимых алюминиевых анодов 1 050 см<sup>2</sup> и межэлектродным расстоянием 5 мм на лабораторных культурах сине-зеленых водорослей *Microcystis aeruginosa* (фитопланктон), выращенных на среде Фитцджеральда № 11 [13]. Определение численности водорослей производили счетно-

объемным методом с помощью камеры Горяева [14] и путем определения мутности воды на фотоэлектронном мутномере.

Исследовательские работы по электрокоагуляционному удалению из воды бактерий проводились на стерильной водопроводной воде, которую инфицировали суспензией *Escherichia coli* (150 000 ос/дм<sup>3</sup>). После обработки в электролизере (10 мин.) воду фильтровали через стерильный бумажный фильтр. На фильтре задерживался гидроксид алюминия с адсорбированными бактериями, а в фильтрат попадали неадсорбированные микроорганизмы. Фильтрат засевали на среду Эндо по 1 см<sup>3</sup> в чашку. Степень удаления микроорганизмов определяли по числу выросших в чашке колоний.

Результаты исследований представлены в виде кривых и таблиц, отражающих зависимость между основными физико-химическими параметрами процесса и остаточным содержанием фитопланктона и микроорганизмов в воде. Кривые построены и таблицы составлены по усредненным данным, полученным не менее чем из 5 опытов.

Исследования по удалению фитопланктона показали (табл. 1), что при изменении температуры от 10 до 30 °C количество клеток в воде почти не изменяется и находится в пределах примерно 6 100 в 1 см<sup>3</sup>. Увеличение температуры воды от 35 до 50 °C несколько

Таблица 5. Эффективность удаления Э из воды бактерий реагентным и электрокоагуляционным методами при различных дозах алюминия  $D_{Al^{3+}}$ 

$D_{Al^{3+}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Сост. Бакт. при реагентном коагулировании, ос/дм <sup>3</sup>	Э, %	Сост. Бакт. при электрокоагуляции, ос/дм <sup>3</sup>	Э, %
0,1	140 000	5,5	21 000	86
0,25	110 000	36,7	13 000	91,4
0,5	61 500	59	11 550	92,3
1,0	42 000	72	11 100	92,6
2,5	33 600	77,6	10 500	93
5,0	30 000	80,1	9 600	93,6
7,5	26 700	82,15	8 700	94,2
10,0	24 000	84	7 500	95
20,0	19 500	87	1 125	99,25
30,0	14 700	90,2	225	99,85
40,0	9 750	93,5	30	99,98
50,0	6 600	95,6	0	100

Примечание:  $C_{исх. Бакт.} = 150\ 000\ ос/дм^3$ ;  $t = 18\ ^\circ C$ ;  $pH = 7,9-8,2$ ;  $i = 2,5\ мА/см^2$

улучшает процесс обеззараживания воды. Дальнейшее повышение температуры воды выше  $50\ ^\circ C$  приводит к резкому снижению количества клеток (на 60 %), а их полное удаление происходит при температуре воды  $80-85\ ^\circ C$ , что объясняется денатурацией белков в клетках при высоких температурах и их разрушением [14].

Изменение величины водородного показателя pH воды от 3,0 до 11,0 показало, что при  $pH < 7,0$  эффективность удаления фитопланктона выше, чем при  $pH > 7,0$  (табл. 2). Так, при  $pH = 3,0$  эффективность удаления составляет 91 %, а при  $pH = 11,0$  – 73,1 % при исходном содержании 10 000 кл/см<sup>3</sup>.

Исследования по влиянию дозы алюминия на удаление фитопланктона из воды показали, что при ее увеличении эффективность процесса повышалась. Для сравнения обеззараживание воды проводили одновременно электрокоагулированием и реагентным коагулированием  $Al_2(SO_4)_3$  (табл. 3).

Большая эффективность удаления фитопланктона была получена в результате электрокоагуляционного процесса, что объясняется влиянием на клетки электрического поля и их дальнейшим разрушением. Например, дозой алюминия  $5,0\ мг/дм^3$  при реагентном коагулировании удаляется 40 % фитопланктона, а электрокоагулированием – до 82 %. При дозе алюминия  $10\ мг/дм^3$  электрокоагуляцией можно полностью удалить фитопланктон из воды, в то время как при введении эквивалентной дозы коагулянта  $Al_2(SO_4)_3$  удаляется только 65 % клеток.

Эффективность электрокоагуляционной очистки воды от фитопланктона подтверждается исследованиями по влиянию на процесс плотности тока (табл. 4). Исследования подтвердили, что с увеличением плотности тока при электрокоагуляции повышается эффективность удаления фитопланктона из воды.

Сравнительные исследования по удалению бактерий *E. coli* из воды электрохимическим и химическим методами также подтвердили эффективность электрокоагуляции. Чем больше доза алюминия, тем выше эффект удаления бактерий из воды (таблица 5). Например, высокими дозами электрогенерированного коагулянта  $Al(OH)_3$  (более  $20\ мг/дм^3$ ) концентрация бактерий снижается на 99-100 %, а при реагентном коагулировании эквивалентной дозой коагулянта удаляется 87-95,6 % бактерий. Процесс перемешивания раствора во время контакта раствора с коагулянтом повышает эффективность процесса, что обусловлено укрупнением хлопьев и повышением адсорбционных свойств  $Al(OH)_3$ .

Исследованиями установлено, что при повышенных плотностях тока (более  $5,0\ мА/см^2$ ) усиливается процесс электрофлотации, что способствует всплыванию свежесформированного гидроксида алюминия и соответственно снижению его адсорбционных свойств на поверхности раствора. Перемешивание позволяет восстановить сорбционную активность коагулянта и повысить эффективность удаления бактерий из воды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Систематическими исследованиями определены особенности улучшения микробиологических показателей маломинерализованных природных вод электрокоагуляцией. Установлено, что удаление фитопланктона и бактерий *E. coli* из воды до нормативных значений достигается при:

- $pH - 6,0-8,5$ ;
- температуре очищаемой воды –  $50-90\ ^\circ C$ ;
- дозе алюминия –  $2,5-10,0\ мг/дм^3$ ;
- плотности тока  $3,0-5,0\ мА/см^2$ .

2. Проведены сравнительные исследования по улучшению микробиологических показателей маломинерализованных природных вод реагентным и электрокоагуляционным методом. Установлено, что гидроксид алюминия  $Al(OH)_3$ , полученный в результате электрокоагуляции, обладает во много раз большей сорбционной способностью по сравнению с  $Al(OH)_3$ , полученным в результате гидролиза  $Al_2(SO_4)_3$ .

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению. СанПиН 10 – 124 РБ 99, СанПиН 10 – 113 РБ 99, СанПиН 8 – 83 – 98 РБ 99. – Минск, 2000. – 152 с.
2. Строкач, П.П. Экология гидросферы / П.П. Строкач, Н.П. Яловая. – Брест: БГТУ, 2004. – 322 с.
3. Кульский, Л.А. Очистка воды коагуляцией под током / Л.А. Кульский, И.Т. Горонковский, М.И. Рыбчинский // В сб. «Улучшение технологии питьевой воды». – Киев: Изд-во АН УССР, 1955. – С. 55–60.
4. Медриш, Г.А. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза / Г.А. Медриш, А.А. Тейшева, Д.Л. Басин. – М.: Стройиздат, 1982. – 80 с.
5. Ярославский, З.Я. Очистка питьевой воды электрокоагулированием на сельских водопроводах. Проектирование сельскохозяйственных зданий и сооружений / З.Я. Ярославский. – М.: Изд-во Гипромсельхоз, 1963. – 274 с.
6. Кульский, Л.А. Серебряная вода / Л.А. Кульский. – К.: Наукова думка, 1971. – 124 с.
7. Михайлова, Л.А. Катодное поведение платинированных титановых электродов в режиме реверса тока в проточных системах электролиза воды / Л.А. Михайлова, Л.М. Якименко // Электрохимия. – 1998. – Т. 34, №12. – С. 1485–1492.
8. Кульский, Л.А. Активированные угли и их применение в технике очистки питьевой воды / Л.А. Кульский, Е.М. Калинийчук // Укр. науч.-техн. об-во сан., техн. и город. хоз-ва. – Киев. – 1978. – 105 с.
9. Барышникова, Т.И. Обеззараживание природных вод электролитическим методом / Т.И. Барышникова, Л.А. Кунина // Строительство и архитектура. – 1986. – №4.
10. Кунина, Л.А. Из опыта электролитического обеззараживания питьевых вод / Л.А. Кунина // Гигиена и санитария. – 1986. – №10.

11. Кунина, Л.А. Обеззараживание питьевых вод электролизом / Л.А. Кунина // Гигиена и санитария. – 1984. – №12.
12. Эберт, Л.Я. Электролитическое обеззараживание воды бездифрагменным способом / Л.Я. Эберт, Л.А. Кунина // Гигиена и санитария. – 1982. – №10.
13. Сиренко, Л.А. К методике культивирования сине-зеленых водорослей – возбудителей «цветения» воды. «Цветение» воды / Л.А. Сиренко. – Киев: Наукова думка, 1988. – 266 с.
14. Иванов, А.И. К методике определения биомассы сине-зеленых водорослей при их массовом развитии / А.И. Иванов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 86 с.

Материал поступил в редакцию 13.05.08

**YALOVAYA N.P. Improvement of microbiological parameters of natural water electric coagulation**

The analysis of existing methods without infection of natural water and results of experimental researches on improvement of microbiological parameters of natural water electro coagulation is resulted. The researches electro coagulation of clearing of water of seaweed and bacteria E. coli have shown, that by the small charges electro generated coagulation  $Al(OH)_3$  it is possible effectively to delete from water of micropollution up to normative parameters. By comparative researches on improvement of microbiological parameters by a component and electro coagulation by a method is established, that water oxidation of aluminium  $Al(OH)_3$ , received in result electro coagulation has many times greater I absorbing ability in comparison with  $Al(OH)_3$ , received in result dissolution salt in water  $Al_2(SO_4)_3$ .

УДК 620.9

**Северянин В.С.**

**ПРЕДУСТАНОВКА ЛАБОРАТОРИИ «ПУЛЬСАР» В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

**ВВЕДЕНИЕ**

Общеизвестны требования диверсификации энергопроизводства разных масштабов. Особый упор при этом делается на возобновляющиеся энергоресурсы. Для Республики Беларусь в силу ряда причин реализация местных энергоресурсов, в том числе возобновляющихся, затруднена (невысокий энергетический потенциал, малые запасы, организационные проблемы, а главное - отсутствие адекватных технических решений). Поэтому разработка новых энергоустановок является очень актуальной проблемой.

В данной статье описываются технические возможности использования таких возобновляющихся ресурсов, как Солнце и ветер, имеющих энергетические характеристики, типичные для климатической зоны Республики Беларусь. Приведены новые разработки научно-исследовательской лаборатории «ПУЛЬСАР» Брестского государственного технического университета, выполненные в 2004-2007 г.г.

Эти предложения доведены до уровня эскизных проектов, т.е. проработаны не только принципиальные схемы, но и основные элементы и взаимодействие между ними.

**ГЕЛИОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ**

В стадии экспериментального изготовления находится описываемая ниже солнечная установка, не имеющая мировых аналогов. Эта гелиостанция может быть применена как по известным, так и новым солнечным технологиям.

Гелиоустановка состоит из конусов 1, это ленты из листового материала, согнутые в виде усеченных конусов, внутренняя поверхность которых выполнена зеркальной, угол образующей конуса к его оси выбирается таким, чтобы солнечный луч направлялся в фокус. Конусов 1 несколько штук, между ними зазор, размеры конусов такие, чтобы их проекции на Солнце, не перекрывая друг друга, полностью, без пропуска, заполняли солнечный поток. Конусы 1 концентрические, все имеют один и тот же фокус.

Конусы 1 дистанционируются относительно друг друга радиусами 2, при этом образуется продуваемая прочная пространственная конструкция. Радиусы 2 - плоские элементы с углами, к которым крепятся конусы 1. Радиусы 2 закреплены на кольце 3, имеющем по диаметру оси 4 и рычаги 5. Плечо рычага 5 обуславливает поворот кольца 3 вокруг оси 4. На рычаги 5 надеты тяги 6.

В фокусе конусов 1 расположен приёмник лучистой энергии 7. Это полая сфера, установленная наверху трубчатой колонны 8, на которую надет кожух 9, имеющий выступы 10, связанные с тягами 6 и поворотником 11. Оси 4 опираются на стойки 12.

Приёмник лучистой энергии 7 для нагрева имеет зачернённую внешнюю поверхность, для освещения люминофора – прозрачную

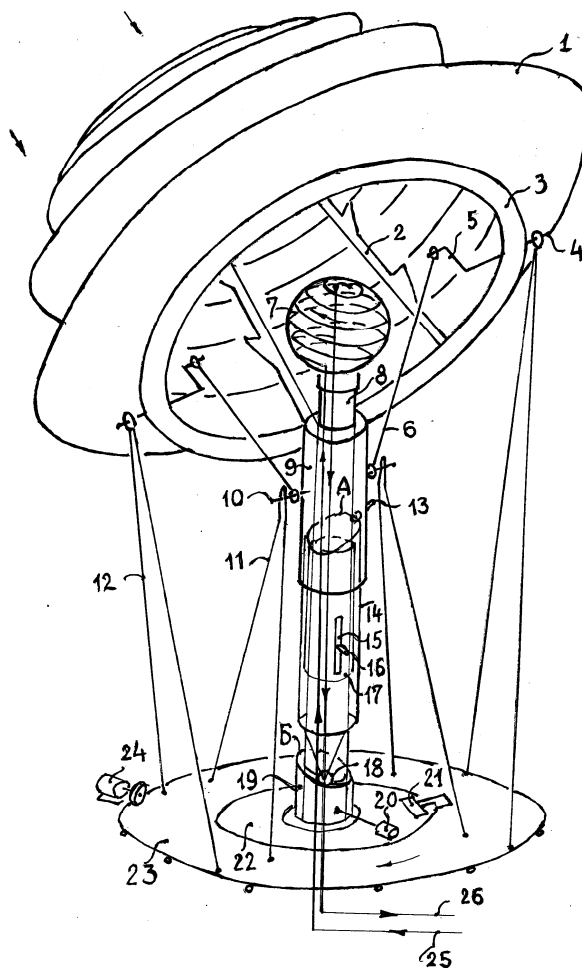


Рис. 1. Общий вид гелиостанции

(внутри сферы организованы спиральные каналы), для выработки электротока сфера собрана из фотоэлементов на её поверхности. Кожух 9 имеет штифт 13, который проходит внутрь него, до поверхности колонны 8, но не прикреплен к ней. Этот штифт 13 опирается

**Северянин Виталий Степанович**, профессор технических наук, профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и теплообеспечения УО «Брестский государственный технический университет», научный руководитель НИЛ «ПУЛЬСАР». ул. Московская, 267, УО БрГТУ, г. Брест, Беларусь.