

Антигололедные покрытия Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Докладчики: Мустафа Раджаи Наиф, Сарновский-Гонсалес Павел Дмитриевич

11Б класс, Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа №77 с углубленным изучением химии Петроградского района Санкт-Петербурга, Россия.

Руководитель: Кондратюк Ирина Павловна—методист Государственного бюджетного общеобразовательного учреждения средняя общеобразовательная школа №77 с углубленным изучением химии Петроградского района Санкт-Петербурга.

Научный консультант: Величко Анна Николаевна—аспирант, ассистент кафедры инженерной защиты окружающей среды **СПБЭТУ**

Введение: Вопросы борьбы со снегом и льдом на дорогах в странах с протяженной зимой имеет давнюю историю. В последнее десятилетия она встала наиболее остро, в связи с нарастанием транспортных потоков, применением новых технологий в дорожном строительстве. Каждое государство решает эту проблему по-своему. Географические, климатические, архитектурные особенности Санкт-Петербурга требуют учета множества факторов при выборе эффективного способа очистки дорог от снежного и ледяного покрова. С каждым годом проблема становится более актуально в связи с тем, что различные реагенты, которыми обрабатываются дороги, наносят колоссальный ущерб жителям города, фасадам зданий и дорожному покрытию.

Цель работы: Выбрать оптимальные смеси компонентов антигололедных покрытий, удовлетворяющих условиям безопасного применения на транспортных магистралях Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Задача: Анализ характеристик существующих смесей и компонентов на основе разумного и сбалансированного сочетания факторов безопасности, экологичности и экономичности для предложения индивидуальных систем обработки для разных типов дорог (тротуаров, транспортных магистралей, загородных автострад), для различных температурных режимов, для снежного и ледяного покрова.

Для поиска решения задач мы анализировали следующие вопросы и темы:

- Способы увеличения скорости таяния снега и льда;
- Физико-химические основы применения солей для увеличения скорости таяния;
- Температуры замерзания раствора и растворителя;
- Химические свойства солей, применяемых в качестве антигололедных средств;
- Применение смесей солей различного качественного состава и количественных соотношений для повышения эффекта воздействия;
- Применение механических добавок;
- Токсическое влияние реагентов на экологическое состояние окружающей среды;
- Влияние на дорожное покрытие, детали транспортных средств;
- Особенности поведения реагентов при резких перепадах температуры;
- Обеспечение безопасности на дорогах;
- Экономичность использования;
- Простота и безопасность применения;
- Законодательные акты и нормативные документы.

Гипотеза: Мы предполагаем, что все используемые на данный момент антигололедные вещества в Санкт-Петербурге и Ленинградской области исполняют свою задачу, но при исполнении своих функций отрицательно влияют на окружающую среду. Мы предполагаем, что имеются реагенты, которые будут выполнять функцию антигололедных веществ, но при этом не влиять пагубно на окружающую среду.

ГЛАВА №1:

Общие сведения о Санкт-Петербурге

Отличительные особенности.

Как только не именуют Санкт-Петербург! Это и северная столица, и Северная Пальмира, и «Окно в Европу», и «культурная столица», и «Северная Венеция», и «колыбель революции». Этот город — действительно особенный, и попадая в него, чувствуешь его величие, гордость и строгость. Столичный статус за два века сделал Санкт-Петербург жемчужиной архитектуры, а также меккой мирового туризма.

Жители Санкт-Петербурга — тоже люди особенные. Еще в советское время ленинградцы славились своей культурой, благородством и отзывчивостью. Сейчас, когда в город переселилось много людей из других городов России и СНГ, это уже не так чувствуется. Но все равно по культурному уровню жителей Санкт-Петербург опережает большинство других городов России.

Географическое местоположение.

Санкт-Петербург — административный центр Северо-Западного федерального округа, расположен в устье реки Невы, впадающей в Балтийское море. Он является самым северным в мире городом-миллионником. Благодарить за это стоит Петра I, основавшего эту северную столицу, да и необъятные просторы нашей родины, где живет достаточно людей, привыкших к северному климату, но ценящих преимущества жизни в столице (пусть даже и второй).

Так как город расположен в дельте Невы, то здесь очень много рек, речушек и каналов, за что Питер и получил название «Северная Венеция». За долгие годы часть естественных каналов и протоков была засыпана, в результате чего число островов сократилось со 101 до 42.

Большая часть города находится в низине, не превышающей уровень океана на 1-3 метра. Именно в Санкт-Петербурге находится нулевая отметка системы отсчета высот и глубин.

Население.

Санкт-Петербург — второй по численности населения город России (5 132 тыс. чел.) По национальному составу, подавляющее большинство — русские (92,5%) Между тем, население города стремительно стареет. 25,5% населения — это пенсионеры (точнее — люди старше трудоспособного возраста). Причем этот показатель за последние десять лет вырос, тогда как доля детей — сокращается. Но есть и положительные тенденции. Это рост рождаемости (на 40% за пять лет), рост количества браков.

Плотность населения здесь чуть ниже, чем в Москве — 3594 чел/кв. км. Процентное соотношение мужчин и женщин — 46:54.

Надо отметить, что питерцы — это очень стойкие люди. Недаром во время войны они смогли пережить тяжелейшую Ленинградскую блокаду, длившуюся 900 дней. Правда, во время нее больше половины населения города погибла, но те, кто выжил, смогли передать свой несломленный дух потомкам.

Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Климат Санкт-Петербурга — переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Солнечных дней здесь очень мало — всего 62 в году. Поэтому питерцы очень ценят ясное небо, а некоторые начинают загорать под стенами Петропавловской крепости задолго до открытия купального сезона. Белые ночи — визитная карточка Петербурга, они длятся около 50 дней. Средняя температура летом +22°C, зимой -7°C. За год выпадает 600-700 мм осадков.

Ленинградская область относится к зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

Основной особенностью климата здесь является непостоянство погоды, обусловленное частой сменой воздушных масс, которые, в зависимости от района формирования, подразделяются на морские, континентальные и арктические. Морские воздушные массы поступают с запада, юго-запада или северо-запада при перемещении через северо-западные районы России атлантических циклонов. Циклоны приносят пасмурную, ветреную погоду и осадки. Зимой они являются причиной резких потеплений, а летом, наоборот, несут прохладу. С востока, юга или юго-востока входит сухой континентальный воздух. В антициклонах, сформировавшихся в этих воздушных массах, устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная.

С севера и северо-востока, главным образом со стороны Карского моря, приходит сухой и всегда очень холодный арктический воздух, формирующийся надо льдом. Вторжения арктических воздушных масс сопровождаются наступлением ясной погоды и резким понижением температуры воздуха. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих воздушных массах, даже летом наблюдаются заморозки, а зимой – наиболее сильные морозы. Разнообразие синоптических процессов и частая смена воздушных масс являются причиной больших междусуточных колебаний метеопараметров. Перепады температуры воздуха, обусловленные сменой воздушных масс, могут значительно превышать амплитуду суточных колебаний и нередко достигают $\pm 20^\circ$ и более.

По причине большой изменчивости погоды ото дня ко дню (а иногда и в течение одних суток) северо-западный регион России, к которому относится Ленинградская область, является одним из самых сложных для прогнозирования. Особенностью Ленинградской области является неоднородность погодных условий по территории, обусловленная большой протяженностью области с запада на восток, разнообразием ландшафта и близостью крупных водоемов (Финский залив, Ладожское и Онежское озера). Кроме резких изменений погоды, которые сами по себе являются неблагоприятными факторами, на территории области наблюдаются практически все опасные метеорологические явления: сильные ветры, в т.ч. шквалы и смерчи, снегопады и метели, гололед, туман, сильные морозы и жара, кратковременные интенсивные ливни и продолжительные дожди, грозы, град, лесные пожары, засуха и наводнения.

Среднемесячные и годовые значения метеорологических параметров по данным за период 1961-1990 гг.

- *среднегодовая температура воздуха в Санкт-Петербурге составляет 5°C, в западных районах области 3,8-5°C, в восточных районах 2,7-3,5°C;*
- *среднее многолетнее число дней в году со среднесуточной температурой выше 0°C в Санкт-Петербурге составляет 232 дня;*
- *средняя дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C в сторону положительных значений весной – 29 марта (по области 4-9 апреля), в сторону отрицательных значений осенью – 17 ноября (по области 12-14 ноября);*
- *самый холодный месяц – февраль со средней температурой от -8,0°C до -8,5°C;*
- *самый теплый месяц – июль со средней температурой от 17,4°C до 18,0°C;*
- *годовое количество осадков 517-557 мм (с поправками на смачивание и ветровой недоучет 637-666 мм);*
- *суточный максимум осадков – 81,9 мм.*

Месяц	Норма (мм) с 1961 по 1990 гг.	Максимальное суточное количество осадков (мм)	Среднее число дней с осадками более 0,1 мм
Январь	38	23	20
Февраль	31	13	17
Март	35	26	14
Апрель	33	29	13
Май	38	56	12
Июнь	58	45	13
Июль	79	69	14
Август	81	76	15
Сентябрь	69	34	16
Октябрь	67	37	17
Ноябрь	56	28	19
Декабрь	51	28	21

Атмосферные осадки в Санкт-Петербурге

Санкт-Петербург по своему географическому местоположению попадает в зону избыточного увлажнения. Выпадение осадков в Санкт-Петербурге определяется главным образом интенсивностью циклонической деятельности. В течение года осадки выпадают неравномерно: большая их часть (67%) приходится на теплый период и только 33% – на холодный. В среднем за год выпадает 636 мм осадков. Распределение среднемноголетнего годового количества осадков по месяцам представлено в таблице и на диаграмме.

Максимум осадков в Санкт-Петербурге приходится обычно на август (81 мм), а минимум – на февраль (31 мм). В отдельные годы, однако, такая закономерность нарушается, и как максимум осадков, так и минимум может наблюдаться в разные месяцы.

Самая большая за всю историю инструментальных наблюдений за погодой месячная сумма осадков была отмечена в августе 1933 года и составила 190,8 мм. Но так как август является у нас самым дождливым месяцем в году, это количество осадков составило относительно нормы «всего» 236%. А вот 127,2 мм осадков, выпавших в мае 2003 года, составили 335% от майской нормы. Это максимальное количество выпавших за месяц осадков в процентном отношении. Минимальное количество осадков, выпавшее за месяц, было отмечено в марте 1923 года, когда за два дня с осадками выпало всего 0,7 мм, что составило 2% от месячной нормы.

Максимальное количество осадков, выпадавшее за сутки, или суточный максимум, также заметно выше в летние месяцы (45...76 мм), чем в зимние (13...28 мм) (см. график на диаграмме). Суточный максимум достигает 42...94% от месячной нормы осадков, а в мае даже превышает её на 47%.

Самое большое количество осадков, выпадавшее в Санкт-Петербурге за одни сутки, составляет 75,7 мм. Такое количество воды обрушилось на город во время ливня 8 августа 1947 года. Пространственное распределение осадков, особенно ливневых, отличаются большой изменчивостью. О крайне неравномерном распределении осадков даже в пределах города говорит, например, тот факт, что во время ливня 8 августа 1947 года, когда в центральных районах был зафиксирован абсолютный максимум, в восточной части города количество выпавших осадков составило всего от 14 до 23 мм.

Одной из основных характеристик осадков является их интенсивность. В холодный период года, когда в Санкт-Петербурге преобладают продолжительные обложные осадки, интенсивность их невелика, в среднем 0,2...0,4 мм/ч. В летние месяцы интенсивность возрастает до 1,1...1,3 мм/ч за счет ливневых осадков.

Показательной характеристикой режима увлажнения является число дней с осадками. За день с осадками принято считать сутки, в течение которых выпадает 0,1 мм и более осадков. Больше половины дней в году (191 день) в Санкт-Петербурге отмечаются осадки. Максимальное число дней с осадками приходится на осенне-зимние месяцы (17-21 день), минимальное – на весенне-летние (12-15 дней). См. график на диаграмме. Средняя продолжительность выпадения осадков в день с осадками уменьшается от зимы (10...11 ч) к лету (около 4 ч).

Несомненно, что климат Санкт-Петербурга является дождливым, однако, и у нас бывают периоды бездождья. Непрерывные периоды, когда осадки не выпадают совсем или их суточное количество не превышает 0,1 мм, могут длиться до 25-30 дней. Последний раз столь длительный период без осадков отмечался у нас с 22 апреля по 18 мая 2006 года.



Петербургская зима

Зима в Санкт-Петербурге начинается немного позднее, чем в других регионах нашей Родины. Лишь к началу декабря устанавливается пониженная температура, снежный покров слегка укутывает улицы и дома, а тончайший, как венецианское стекло, лед сковывает реки и каналы. Зимний период времени здесь можно охарактеризовать как относительно мягкий, но зачастую – капризный и изменчивый.

Обуславливается это в первую очередь влиянием морских воздушных масс, приносимых западными и юго-западными ветрами с Атлантического океана и Балтийского моря. Поэтому так часто обильные снегопады сменяются дождем и туманом, а непродолжительные холодные периоды, когда температура достигает -12°C , чередуются с оттепелями, подгоняющими столбик термометра к нулевой, а то и к плюсовой отметке. Самыми холодными месяцами в Питере по праву считаются январь и февраль. В среднем же зимняя температура колеблется от -8 до $-10,3^{\circ}\text{C}$. Однако, в исключительные годы, минимальные температуры могут достигать -40°C .

Так, например, случилось зимой 2005 года, когда трескучие морозы, коварно охватившие практически всю территорию России, не обошли стороной и город-герой на Неве, и Питер, так же как многие другие города замерзал от сорокоградусных морозов. Окончание зимы приходит незаметно, ближе к середине марта. Нельзя не упомянуть, что в последние годы наблюдается тенденция сокращения средней продолжительности зимы в Петербурге на три недели.

Этот факт отмечается ректором Государственного гидрометеорологического университета Львом Карлиным, который считает, что температурные сдвиги вызваны деятельностью человека, зачастую приводящей к выбросам парниковых газов в атмосферу.

Справедливым будет отметить, что зимой жители и гости северной столицы могут испытывать некоторые неудобства. Связано это во многом именно с изменчивостью погоды: в теплые периоды снег превращается в мокрую кашу, которая затрудняет передвижение по городу и так вредит нашей обуви; когда же наступают холода, на дорогах появляется жесткий наст и гололедица, что часто приводит к травмам, ушибам и вывихам. Кроме того, постоянные ветра, туманность и повышенная влажность ослабляют иммунитет и могут вызвать простуду или другие бронхо-легочные заболевания.

Непостоянство температурного режима в некоторой степени омрачает и детскую жизнь, ведь такие развлечения как езда на санках, катание на коньках, на лыжах или просто с ледяной горки становятся практически недоступными.

Однако, все перечисленные недостатки Петербургской зимы вовсе не повод для того, чтобы горожане отказывались от пеших прогулок, а туристы – и вовсе от посещения Питера. Ведь зима не в коем случае не умоляет красот и достопримечательностей северной столицы. Достаточно всего лишь позаботиться о теплой одежде и надежной обуви, не боящейся слякоти, а в случае, если мороз все-таки проберется к вам за воротник, всегда можно заглянуть в одно из многочисленных кафе и подбодрить себя чашечкой горячего чая, кофе или бокалом глинтвейна. Кроме того, любители покататься на лыжах смогут осуществить свое желание, выехав за город, а поклонники катания на коньках найдут, где поупражняться, посетив дворец спорта или стадион.

ГЛАВА №2:

Из чего делают реагенты?

Название «реагент» означает, что данное вещество вступает в реакцию. В нашем случае речь идёт о реакции со льдом, который реагенты растапливают, вступая с ним во взаимодействие. Поэтому, например, гранитную или мраморную крошку реагентом назвать нельзя, так как она не топит лёд, а просто делает его менее скользким. Химические противогололёдные материалы изготавливаются на основе различных веществ, большинство из которых – хлориды.

Хлорид натрия

Это на данный момент самые распространённые реагенты – обычная поваренная соль технического назначения. Существуют несколько степеней её очистки. Например, чистый хлорид натрия используется также для удаления накипи в промышленных котлах. Среди главных преимуществ этого средства – его эффективность и экономность. При морозах до -15 градусов по Цельсию соль действует безотказно. Из-за низкой стоимости, коммунальщики сыплют её на дороги щедрой рукой, благодаря чему ярко проявляются основные недостатки этого материала - он разъедает металлы и отравляет придорожную растительность, нарушая состав почвы.

Хлористый кальций модифицированный

Наиболее популярны реагенты на основе хлорида кальция в столице, где власти запрещают использовать для борьбы с гололёдом соль. Обычно хлористый кальций распыляется в виде раствора по дороге, поэтому тележка-дозатор при его использовании не понадобится. Правда, уже после первых дней применения этого материала в столице выявился его очевидный недостаток – он сам по себе значительно ухудшает сцепление колёс автомобилей с дорогой. То есть, уничтожая гололёд, такие реагенты сами выступают в роли льда. Дело в том, что хлорид кальция притягивает к себе влагу, из-за чего дорога быстро становится мокрой. К тому же, эффект от применения данного средства длится не более трёх часов, так что расход его очень велик.

Бишофит

Это соль высохшего древнего океана, основной компонент которой – хлорид магния. Обычно она используется в виде сухого материала, так что для её внесения потребуется тележка для реагента. Среди главных достоинств такого реагента – возможность его эффективного применения даже при сильных морозах (до -30 по Цельсию). Также он крайне щадяще относится к окружающей среде и даже стимулирует рост придорожной растительности. На основе этого природного минерала изготавливаются антигололедные материалы Рокмелт.

Также для обработки дорог от гололёда используются различные **ацетаты и смеси ацетатов с хлоридами**.

ГЛАВА №3:

Польза и вред антигололедных средств

Начиная с зимнего периода 2001/2002 годов жилищно-коммунальные службы крупных городов (Москва, Санкт-Петербург и др.) стали отказываться от традиционной соли в пользу более эффективных экологически безопасных и более технологичных антигололедных реагентов (ПГР) нового поколения. В качестве основных реагентов стали применяться твердые ХКФ и "Биомаг" (хлористый кальций, ингибированный фосфатами), жидкие ХКМ (хлористый кальций модифицированный) и "Нордекс". Эти препараты были признаны экологически безопасными и достаточно эффективными антиобледенителями. Но в то же время данные реагенты обнаружили свойство создавать "масляную" пленку на дороге, в результате чего тормозной путь автомобиля увеличивался в несколько раз.

В связи с ограничением использования технической соли в черте города, столичные коммунальные хозяйства начали использовать более дорогие антигололедные реагенты ХККМ (хлористый кальций модифицированный), ХКНМ (хлористый кальций натрий модифицированный), а также их аналоги. Наиболее популярными и эффективными среди них стали твердые химические комбинированные реагенты на основе модифицированного хлористого кальция и магния. Согласно инструкции их можно использовать практически при любых погодных условиях и температурных режимах, а также во время снегопадов.

Их распределяют с помощью имеющейся у дорожных служб спецтехники, что позволяет обрабатывать большие территории.

В течение 2001–2004 годов Центром госсанэпиднадзора в городе Москве были выданы санэпидзаклучения о безопасности продукции и ее соответствии требованиям санитарных норм и правил на следующие виды противогололедных материалов российских производителей: ХКМ (хлористый кальций модифицированный) — ОАО «Синтез»; ХММ (хлористый магний модифицированный) «БиоМаг» — ЗАО «Бишофит-Авангард» (Волгоград); «Нордикс» — ЗАО «Дизель-Нефтепродукт» (Москва); «Ацедор» (ГУП «Поклонная гора»); ХКК (хлористый кальций кальцинированный гранулированный) — ОАО «Каустик» (Волгоград); «Чистодор» — ОАО «Гарант-Лей»; хлористый кальций натрий модифицированный — ОАО «Каустик» (Волгоград); средство для борьбы с гололедом «СБГ» — ЗАО «Экомаг» (Пермь).

Начиная с зимы 2005-2006 годов московские власти отказались от применения хлористого магния ("Биомаг") из за тенденций к накоплению аниона магния в почвах и природных водах.

Согласно постановлению правительства Москвы от 10 апреля 2007 года "О порядке допуска к применению противогололедных реагентов для зимней уборки объектов дорожного хозяйства в городе Москве" на объектах дорожного хозяйства города Москвы допускается применение только тех реагентов, которые прошли предварительную оценку воздействия на жизнь и здоровье граждан, состояние компонентов окружающей среды, включая растения, почву, водные объекты, на состояние объектов дорожного хозяйства и связанных с ними гидротехнических и других коммуникаций. К наиболее распространённым химическим антигололедным реагентам относится широко распространённый жидкий 28%-ный раствор хлористого кальция модифицированного (ХКМ).

По сравнению с технической солью, ХКМ обладает несколькими существенными преимуществами: нормы расхода хлористого кальция в среднем на 30-40% ниже чем у технической соли, ХКМ действует в любом диапазоне температур до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, а экологическая нагрузка ХКМ значительно меньше, чем у соли. ХКМ не позволяет образовываться гололеду и снежно-ледяным накатам. Кроме того, как показали лабораторные исследования, эти реагенты не только расплавляют лед, но и улучшают состояние почвы.

Кальций замещает натрий, который накопился в почве за время использования технической соли, и таким образом даже удобряет ее. По сравнению с другими видами противогололедных реагентов данный препарат имеет преимущество по способности эффективно и быстро плавить лед: 1 г ХКМ растапливает за 1 мин. 0,11 г льда. Выделяемое при этом тепло позволяет в четыре-пять раз быстрее по сравнению с поваренной солью ликвидировать снежно-ледяные отложения на дорожном покрытии. ХКМ можно использовать до снегопада (профилактика), во время снегопада или после него. Нужно учитывать лишь то, что во втором случае реагент распределяют через 20–40 мин., когда на проезжей части накапливается слой снега толщиной 3–5 мм. Расход реагента зависит от толщины льда и температуры окружающей среды.

Например, при температуре воздуха $-2-4$ °С и толщине льда 3–5 мм необходимы 35 г реагента на 1 кв. м. При температуре $-10-15$ °С и толщине льда 1–2 мм — 45 г/кв. м.

При распределении ХКМ до или во время снегопада приступать к уборке образовавшейся кашицеобразной массы можно практически сразу после прекращения снегопада, а при разбрасывании вещества после снегопада — спустя 1–2 ч после стабилизации природной обстановки, до тех пор пока отложения не увлажнятся из-за их частичного плавления и не разрыхлятся под воздействием колес автомобиля. Главное — не переусердствовать и не передержать. Иначе падение температуры приведет к повторному образованию скользкой корки на покрытии и перерасходу противогололедных материалов. Стоит ХКМ 2,5–3 тыс. руб. за 1 т.

Несмотря на явные преимущества, хлористый кальций модифицированный обладает рядом недостатков. Одним из главных минусов ХКМ является короткий срок действия реагента – 3 часа. Это приводит к тому, что дороги в течение суток необходимо обрабатывать несколько раз. Ученые Московского автодорожного института (МАДИ) также выяснили, что после обработки дорожной наледи жидким хлористым кальцием модифицированным, коэффициент сцепления шин с дорогой снижается на 30% даже по сравнению с мокрым асфальтом. Когда применяли техническую соль, влага испарялась, и дороги оставались сухими, ХКМ, напротив, притягивает влагу. Если же на дорожном полотне есть пленка из машинного масла, бензина, а поры асфальта забиты резиновой крошкой, то ХКМ еще больше теряет в эффективности.

Кроме того, по мнению экспертов, хлористый кальций вызывает аллергию у людей и разъедает металл автомобилей. По данным НИИ экологии человека и окружающей среды им. Сытина, количество аллергий у москвичей с приходом зимы значительно увеличивается. Как и соль, ХКМ агрессивен по отношению к обуви из натуральных материалов: даже очень хорошо выделанная кожа под воздействием реагентов становится жесткой, а значит, может легко треснуть. К тому же, хлор, известный своими отбеливающими свойствами, изменяет цвет обуви.

Хлористый кальций небезопасен и для животных. По мнению ветеринаров, зимой отмечается увеличение количества жалоб от собаководов, чьи питомцы стали чаще попадать в ветлечебницы с химическими ожогами лап. Хлористый кальций и его аналоги уже проходили испытания в Италии, Франции, Швейцарии, Германии и США. «Рискнула» его использовать одна только Швейцария, в которой морозов не бывает. А в Норвегии и Швеции вообще не пользуются никакой химией. Просто убирают заносы снегоуборочной техникой. В Финляндии же пользуются рецептом времен царской России: соленой мраморной крошкой.

Другие реагенты:

Хлористый магний модифицированный «БИОМАГ» получают из природного рассола. Этот реагент наиболее эффективен при низких температурах. Так, к примеру, если каменная соль действует при температуре $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, хлорид калия — при $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$, то ХММ — при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. БИОМАГ не препятствует образованию льда в течение двух-трех дней с момента применения. Удобно и то, что он не образует белого порошкообразного налета (осадка) при высыхании в отличие от большинства ПГР. Да и для растений и животных он безопасен, так как хлористый магний с успехом используют в растениеводстве и животноводстве в качестве минеральной подкормки. Механизм работы с реагентом таков. Если метеорологическая служба сообщает, что в ближайшее время ожидается снегопад, то следует рассыпать ХММ равномерно по обрабатываемой территории из расчета 30–140 г/кв. м. Снег, попадающий на обработанную поверхность, будет таять, не образуя ледяного покрытия. Если же такая напасть, как снег, уже свалилась на город, то следует предварительно очистить дороги от рыхлого снега, а потом уже посыпать их «БИОМАГом».

В обоих случаях его кристаллы начнут активно впитывать (поглощать) влагу из окружающей среды. При переходе из твердой фазы в жидкую реагент начнет выделять тепло. Образовавшаяся из растопленного снега, льда и реагента масса называется рассолом. При участии «БИОМАГа» подобный рассол образуется в два раза быстрее, нежели с использованием каменной соли. Именно такой рассол разрывает связь между дорожным покрытием и льдом, предотвращая появление гололеда. Остается только убрать снежную жижу с помощью снегоуборочной машины. Цена «БИОМАГа» чуть больше 1000 руб. за 1 т.

Но абсолютным лидером по борьбе с гололедом при низких температурах является жидкий реагент «НОРДВЕЙ» (прежнее название «НОРДИКС-П»), созданный на основе ацетата калия. Его можно применять для борьбы с льдообразованиями при температурах до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также в условиях Крайнего Севера. Эксплуатационные свойства реагента «НОРДИКС-П» позволяют предупреждать и эффективно бороться с льдообразованием, а также не допускать крепкой связи между снежно-ледяным накатом и асфальтом, что повышает безопасность дорожного движения. Уже через 50 мин. после нанесения реагента коэффициент сцепления льда с дорогой достигает значения, при котором допустима безопасная эксплуатация автотранспорта. Также жидкая форма реагента способствует равномерному удалению гололеда. Причем при благоприятных климатических условиях «НОРДИКС-П» может действовать до четырех суток без повторного нанесения. Для распределения «НОРДИКС-П» пригодны отечественные дисковые и штанговые разбрызгиватели ДКТ-503А и КО-822-1. Допустимо и использование обычных поливальных машин ПМ-130, снабженных специальным навесным распределительным оборудованием. Наибольшую сложность в содержании дорог представляет удаление льдообразований, в первую очередь тонких пленок гололеда, соразмерных по толщине с шероховатостью покрытия. Появление пленки гололеда, особенно в начальный момент, резко снижает сцепные качества покрытия. Реагент эффективно решает и эту задачу.

«Ацедор» — жидкий противогололедный материал, как и «Нордикс», разработанный за несколько последних лет. В его основе — соли уксусной кислоты, которые одновременно эффективны при низких температурах и не вызывают коррозии металлических частей автотранспорта и разрушения бетона. Дорожные покрытия, обработанные такими реагентами, имеют высокие коэффициенты сцепления, что снижает аварийность на дорогах.

Кроме того, способы получения разработанных противогололедных реагентов экономичны, так как не требуют использования дорогостоящего оборудования.

Помимо уксусной кислоты в «Ацедор» входит смесь ацетатов калия, кальция и магния. Так как эти вещества применяют в качестве удобрения для растений, то и вред от данного реагента минимальный. Наоборот, он усиливает биологическую активность почв. Рекомендуемая норма расхода — 50–100 мл/кв. м.

Другое средство для борьбы с гололедом, которое называется «Средство борьбы с гололедом» (сокращенно СБГ), представляет собой препарат, состоящий из смеси твердых хлоридов металлов (калия, магния, натрия и кальция). Магний и окись магния в составе СБГ служат ингибиторами коррозии, снижают агрессивную активность материала к металлическим деталям мостов и машин в три-три с половиной раза. Это средство также не оказывает вредного влияния на резиновые детали машин, более щадяще по сравнению с другими реагентами действует на дорожно-строительные материалы и покрытия, т. к. уменьшает вымывание щелочных компонентов из бетона (показатель агрессивности по цементобетону — 0,4).

Для обработки одной и той же площади СБГ необходимо в шесть раз меньше, нежели хлористого натрия. Наибольшая способность СБГ разрушать плотность снежно-ледяных образований отмечена при температуре от 0 °С до –15 °С. Его следует наносить равномерным слоем на плотные корки из льда и снега, предварительно очищенные от рыхлой снежной массы механическим способом.

На трассах I, II, V категорий и внекатегорийных дорогах норма расхода реагента составляет 60–120 г/кв. м при температуре до –18 °С и толщине льда или снежного наката до 2 см.

На дорогах III, IV категорий норма расхода — 40–80 г/кв. м, в пешеходных зонах — 20–40 г/кв. м при таких же температуре и толщине льда или снежного наката.

При более низких температурах и большей толщине слоя льда или снежного наката рекомендовано увеличить расход материала пропорционально толщине снежно-ледяных отложений и использовать более крупную фракцию СБГ.

После нанесения реагента следует выждать не меньше одного часа, прежде чем приступать к механической чистке снежно-ледяной массы, так как высокая плавящая способность СБГ (до 12 г/г) проявляется именно в течение первого часа. Помимо противогололедных способностей СБГ также эффективно удобряет почву. Калий, магний и кальций, входящие в его состав, способствуют увеличению содержания крупнозернистых фракций в земле. Такие почвы обладают хорошей водо- и воздухопроницаемостью. Биофильные элементы в составе препарата оказывают позитивное влияние на минеральное питание растений. Ионы хлора быстро вымываются из почвы, и засоления не происходит.

В отличие от предыдущего реагента в хлористый кальций натрий модифицированный, больше известный под названием «АЙСМЕЛТ», входит еще и натрий. Это сложная гранулированная смесь выпарного хлористого натрия и безводного хлористого кальция с добавлением ингибитора коррозии. Активные свойства хлорида натрия позволяют гранулам реагента глубже проникать сквозь лед к поверхности дорожного покрытия и разрушать сцепление льда и покрытия. А хлорид кальция увеличивает скорость таяния льда и снижает количество ионов натрия, что уменьшает их вредное воздействие на окружающую среду.

«АЙСМЕЛТ» работает при температуре до -20 °С. Он обладает более медленным, но более мощным пролонгированным действием, глубже проникает в толщу льда вплоть до поверхности дороги, препятствует сцеплению льда с дорожным полотном. Следовательно, и показать себя он может лучшим образом на дорогах с уже сформировавшимся крепким ледяным покрытием. Учитывая, что реагент понижает температуру замерзания воды, его можно безбоязненно применять в экстремальных условиях — там, где не только образовался лед, но и идет снегопад. Свежего гололеда в таком случае удастся избежать. Для оттаивания одного и того же объема льда расход «АЙСМЕЛТА» в два-два с половиной раза меньше расхода используемых в настоящее время противогололедных реагентов. Цена реагента примерно 1000 руб. за 1 т.

ГЛАВА №4:

Принцип действия противогололедных реагентов

Представляет собой определенную химическую реакцию с окружающей средой (ледяной коркой или снегом). Основным свойством всех реагентов является понижение точки плавления снега.

Когда противогололедный реагент твердого типа начинает контактировать с поверхностью льда или снега, его кристаллы активно поглощают влагу из окружающей среды. При переходе из твердого состояния в жидкое реагент выделяет тепло, которое растапливает снег. Жидкие реагенты, имея температуру замерзания ниже, чем у воды, могут предотвращать образование наледей.

Несмотря на то, что принципы действия противогололедных веществ схожи друг с другом, между ними все же существуют определенные отличия, которые в основном связаны с условиями их применения. К примеру, некоторые вещества более эффективно воздействуют на снег и наледи при 0 °С, а другие рекомендуется применять при минусовых температурах. Только специалисты смогут грамотно подобрать нужный противогололедный препарат с учетом особенностей поверхности дороги. При самостоятельных попытках использования реагентов можно необратимо деформировать дорожное покрытие, а также нанести вред своему здоровью.

Твердые реагенты рекомендуется применять после уборки территории от снега. А реагенты жидкого типа, напротив, используются до выпадения осадков при температуре от -5 градусов.

Противогололедные реагенты, как правило, наносятся на поверхность дорог и тротуаров при помощи специальных механизмов и профессиональной техники. Жидкие реагенты используются для профилактической обработки, потому что если наносить их на поверхности с уже образовавшейся наледью, может возрасти риск возникновения аварийных ситуаций на дорогах.

Эффективность действия противогололедных реагентов зависит от различных факторов, среди которых можно выделить основные: концентрация растворов (для жидких реагентов); температура замерзания противогололедных веществ; плавящая способность реагентов; вязкость противогололедных растворов; коррозионная активность реагентов.

Принцип действия противогололедных реагентов представляет собой определенную химическую реакцию с окружающей средой (ледяной коркой или снегом). Основным свойством всех реагентов является понижение точки плавления снега.

Когда противогололедный реагент твердого типа начинает контактировать с поверхностью льда или снега, его кристаллы активно поглощают влагу из окружающей среды. При переходе из твердого состояния в жидкое реагент выделяет тепло, которое растапливает снег. Жидкие реагенты, имея температуру замерзания ниже, чем у воды, могут предотвращать образование наледей.

Несмотря на то, что принципы действия противогололедных веществ схожи друг с другом, между ними все же существуют определенные отличия, которые в основном связаны с условиями их применения. К примеру, некоторые вещества более эффективно воздействуют на снег и наледи при 0 °С, а другие рекомендуется применять при минусовых температурах. Только специалисты смогут грамотно подобрать нужный противогололедный препарат с учетом особенностей поверхности дороги. При самостоятельных попытках использования реагентов можно необратимо деформировать дорожное покрытие, а также нанести вред своему здоровью.

Твердые реагенты рекомендуется применять после уборки территории от снега. А реагенты жидкого типа, напротив, используются до выпадения осадков при температуре от -5 градусов.

Противогололедные реагенты, как правило, наносятся на поверхность дорог и тротуаров при помощи специальных механизмов и профессиональной техники. Жидкие реагенты используются для профилактической обработки, потому что если наносить их на поверхности с уже образовавшейся наледью, может возрасти риск возникновения аварийных ситуаций на дорогах.

Эффективность действия противогололедных реагентов зависит от различных факторов, среди которых можно выделить основные:
концентрация растворов (для жидких реагентов);
температура замерзания противогололедных веществ;
плавящая способность реагентов;
вязкость противогололедных растворов;
коррозионная активность реагентов.

Причем, как оказалось, если использовать хлориды других металлов, таких, как например Магний (Mg), Кальций (Ca), Калий, то получаемые вещества данной группы обладают относительно одинаковыми свойствами, выраженными в большей или меньшей степени. Например, хлорид кальция (CaCl_2) схож по своему воздействию с хлористым натрием, однако характеризуется значительно более высокими плавящими свойствами. Другими словами, чтобы добиться того же самого эффекта, на единицу объема лил массы, потребуется значительно меньшее количество хлорида кальция, чем для достижения того-же эффекта потребовалось бы хлорида натрия или обычной поваренной соли. А дальше все упирается в обычные математические вычисления. Зная количество требуемого вещества, количество снежного покрова, температуру окружающей среды и что немаловажно – рыночную стоимость компонент, уже можно составлять группы противогололедных реагентов, отвечающих тем или иным климатическим особенностям местности, основываясь как на экологичности последних, так и на экономической составляющей данного процесса. Надо отметить, что при повседневном использовании, предпочтение следует отдавать тем реагентам, которые нанесут наименьший вред окружающей среде, однако не надо забывать о ситуациях, когда приходится выбирать что важнее. Например в аэропортах, на взлетно-посадочных полосах, при выборе реагента, на первом месте всё-таки стоит его эффективность, т.к. в данном случае речь идет о взлете и посадке самолетов, а соответственно о человеческой жизни.

К тому же следует помнить, что реагенты, достаточно безвредные для окружающей среды при одних метеорологических условиях, могут оказаться вредными при других, поэтому и подбирать их нужно довольно тщательно.

ГЛАВА №5:

Оценка двигательной активности микроорганизмов при помощи прибора «Биотестер-2»

Прибор «Биотестер-2» предназначен для реализации методик биологического тестирования, применяемых при контроле загрязненности токсическими веществами природных, сточных, питьевых вод, водных вытяжек из различных материалов и пищевых продуктов. Прибор позволяет определять концентрацию (число) живых движущихся клеток микроорганизмов типа инфузорий, используемых в качестве тест-объектов.

Прибор "Биотестер - 2" - специализированный импульсный фотометр, способный контролировать в условных единицах концентрацию инфузорий в верхней части кюветы в окрашенных и мутноватых средах, что в принципе недоступно ни одному из известных измерительных средств. Оптический канал использует твёрдотельные полупроводниковые источник излучения и фотоприёмник, закреплённые в жёсткой, металлической оправе.

Методики определения токсичности различных сред, реализуемые на приборах серии "Биотестер", основаны на контроле хемотаксической реакции инфузории-туфельки - убегания от опасного химического вещества. В нижнюю часть вертикальной оптической кюветы помещается 2 мл взвеси инфузорий (500-1500 шт/мл), а сверху наслаивается 1,6 мл. испытуемой пробы. В чистую среду инфузории выплывают почти все за 15-20 мин. Чем токсичнее среда, тем меньше их выплывает. Относительное уменьшение вышедших в верхнюю часть кюветы инфузорий по сравнению с "контролем" и определяет индекс токсичности.

Заполнение кювет

В кювету вносят $2,0 \text{ см}^3$ взвеси инфузорий в рабочей концентрации, предварительно проверенной по двум параметрам: по чувствительности к модельному токсиканту и по характеру выхода в разбавляющую среду. К взвеси добавляют $0,35 \text{ см}^3$ 5%-ного раствора ПВС, все тщательно перемешивают, непременно увлажнив стенки кюветы, и наслаивают (например, пипеткой) $1,6 \text{ см}^3$ анализируемой жидкости, не допуская перемешивания с нижним слоем.

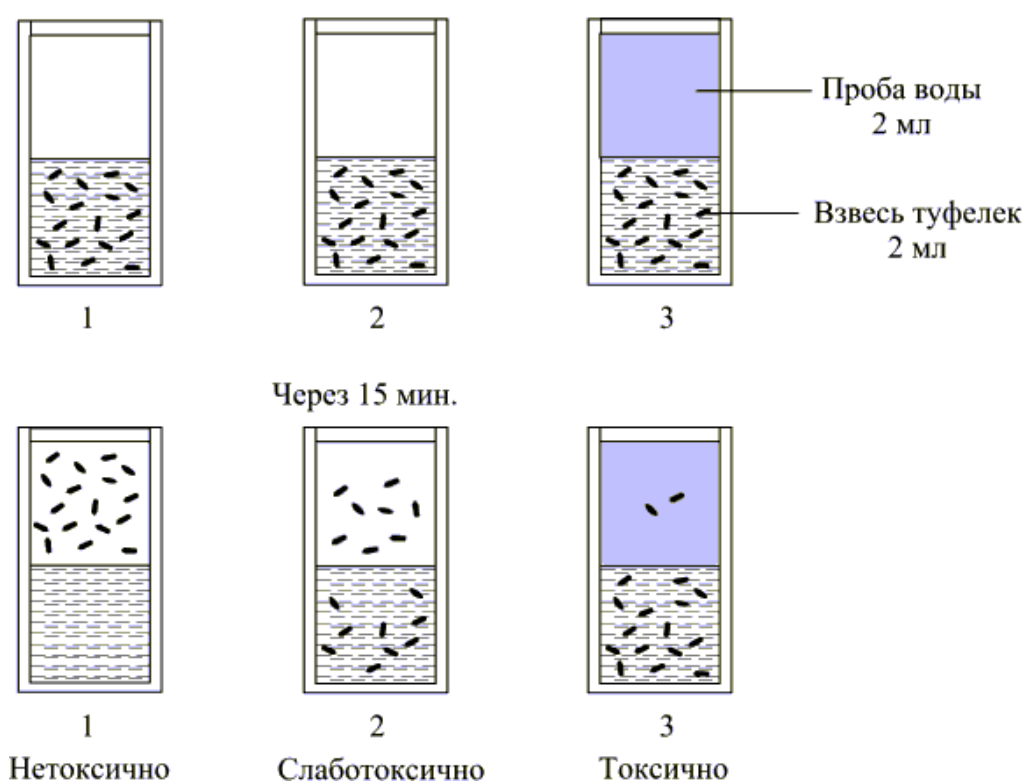


Рис. 8. Заполнение кюветы.

Через 15-30 мин (продолжительность тест-реакции) последовательно производят определение концентрации инфузорий в верхней зоне кюветы в контрольных (I_k) и опытных ($I_{оп}$) пробах. Контрольные и опытные пробы готовят одновременно.

Измерение концентрации инфузорий на приборе "БИОТЕСТЕР"

Подготовленные кюветы последовательно помещают в кюветный модуль и снимают показания прибора.

Если концентрация токсических веществ в пробе настолько велика, что инфузории практически не выходят в пробу (показания прибора в условных единицах находятся в пределах 0,00—0,08), то начинает мигать светодиод "ТРЕВОГА". Это означает, что испытываемую пробу необходимо разбавить до получения на приборе значимых величин.

Обработка полученных результатов

Оценку токсичности пробы производят по относительной разнице количества клеток в верхних зонах кювет в контрольной и анализируемой пробе. Индекс токсичности определяется как:

$$T = \frac{I_{\text{ср. контроль}} - I_{\text{ср. опыт}}}{I_{\text{ср. контроль}}}$$

где $I_{\text{ср. контроль}}$, $I_{\text{ср. опыт}}$ — средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб соответственно.

Индекс токсичности T — величина безразмерная и может принимать значения от 0 до 1 в соответствии со степенью токсичности анализируемой пробы. По величине индекса анализируемые пробы классифицируются по степени их токсичности на 3 группы:

- I. допустимая степень токсичности ($0,00 < T < 0,40$);
- II. умеренная степень токсичности ($0,41 < T < 0,70$);
- III. высокая степень токсичности ($T > 0,71$).

ГЛАВА №6:

Биотестирование водных сред с использованием простейших

1. История метода биотестирования

Биотестирование как способ оценки качества воды вошел в практику в начале XX в., когда для токсикологической характеристики широко использовали «рыбную пробу». Первые биотесты на дафниях и циклопах были выполнены в 1918 г. В дальнейшем основным тест-объектом длительное время служила *Daphnia Magna*. С конца 1930-х годов в качестве тест-объектов стали использовать гидробионты разного систематического уровня и с разными трофическими связями. В 1940 – 1941 гг. в систему испытаний включили простейших, ракообразных, червей и рыб. За биологические показатели оценки качества воды были приняты выживаемость, репродуктивность (размножение), выживаемость нарождающейся молодежи, дыхательный и сердечный ритмы, потребление кислорода, выделение углекислого газа и аммиака как конечных продуктов обмена, дыхательный коэффициент, темп роста и питания, кормовой коэффициент, увеличение массы и др.

В средние века был известен метод биотестирования, основанный на использовании канареек для индикации появления рудничного газа в горных выработках. Поведение птицы или её гибель оповещали шахтеров о грозящей им опасности. Исследования в области разработки и использования метода биотестирования в водоохранной практике проводились во многих научно-исследовательских и учебных институтах. В 1980 г. была признана необходимость применения биотестирования как показателя оперативной интегральной диагностики качества вод. В 1981 – 1986 гг. методики биотестирования были апробированы и рекомендованы для определения токсичности сточных и природных вод.

По итогам апробации Всесоюзным научно-исследовательским институтом по охране вод (ВНИИВО) – головным институтом по разработке и использованию методов определения токсичности вод в 1990 г. было подготовлено и утверждено Государственным комитетом СССР по охране природы «Методическое руководство по биотестированию воды» (РД 118-02-90). В этот документ вошли методики с использованием тест-объектов – представителей основных трофических звеньев водной экосистемы: водорослей, ракообразных и рыб. Позднее, для целей государственного экологического контроля Минприроды России, а затем Госкомэкологией России были подготовлены и утверждены методики для определения токсичности воды с использованием в качестве тест-объектов инфузорий и ракообразных (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98; ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.3-99; ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.4-99) и для определения токсичности вод, почв и донных отложений – методика биотестирования по ферментативной активности бактерий (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.1-96, 16.2:2:3:1.2-96). ПНД Ф Т – федеральный природоохранный нормативный документ, регламентирующий токсикологические методы контроля.

2. Основные цели и задачи биотестирования

Биологический контроль позволяет выявлять изменение вредности смесей, которые обладают эффектом синергизма и антагонизма - усиления или ослабления по сравнению с вредностью их компонентов. Поэтому аналитический физико-химический и биологический контроль являются взаимно дополняющими при экологическом мониторинге качества окружающей среды. Выделяют следующие методы биологического контроля: биотестирование, биоиндикация и биосенсорный контроль [9].

Контроль токсичности является очень важной задачей во многих областях охраны среды.

Биотестирование является новой областью биологического контроля, развивающегося с конца 60-х годов.

Полностью не заменяя химических и физических методов, биотестирование занимает всё более значительное место среди других методов индикации токсических веществ, давая дополнительную ценную информацию о состоянии биосферы, которую другими методами не получить. Особую роль в оценке состояния окружающей среды играют биологические тесты. Это связано с тем, что результаты химического анализа, проводимого с помощью сложного аналитического оборудования, во многих случаях не позволяют оценить истинную опасность тех или иных загрязнителей на среду обитания, прогнозировать последствия их воздействия на живые организмы. Многообразные загрязняющие вещества, попадая в окружающую среду, могут претерпевать в ней различные превращения, усиливая при этом свое токсическое действие. По этой причине оказались необходимыми методы интегральной оценки качества среды (воды, почвы, воздуха). Огромную роль при этом играют методы биотестирования и биоиндикации.

Под биотестированием понимают приемы исследования, при котором о качестве среды, факторах, действующих самостоятельно или в сочетании с другими, судят по выживаемости, состоянию и поведению специально помещенных в эту среду организмов - тест-объектов. Используя различные тест-объекты, можно получить информацию и о составе загрязняющих веществ.

Обобщенная схема, показанная на рис. 1, представляет биотестирование как процесс преобразования материального потока в информационный.

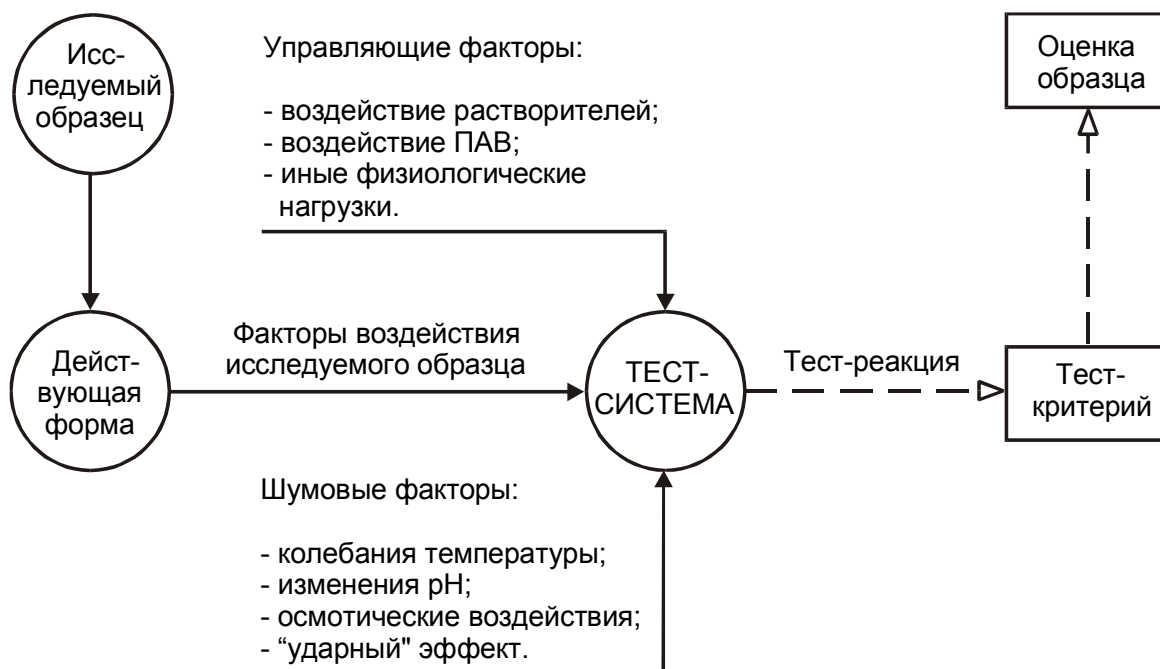


Рис. 1. Принципиальная схема биотестирования.

Центральным элементом схемы является тест-система – пространственно ограниченная совокупность чувствительных биологических элементов и среды, в которой они находятся. Наблюдение за сменой состояния этой совокупности под воздействием повреждающего фактора лежит в основе биотестирования.

Тест-организм – специально выращенный в контролируемых условиях организм, наиболее чувствительный для данного вида биологического контроля.

Тест-реакция – количественно измеряемое изменение физико-химических свойств организмов (популяции) при воздействии вредного фактора.

3. Биотестирование с использованием инфузории *Paramecium Caudatum*

В качестве тест-объекта для экспрессных тест-реакций широко используются простейшие. Это микроскопические одноклеточные животные, известные с XIX века. Важными представителями простейших являются инфузории. Они являются *консументами* всех водных экосистем.

Метод биотестового анализа основан на способности инфузორий избегать неблагоприятных и опасных для жизнедеятельности зон и активно перемещаться по градиентам концентраций химических веществ в благоприятные зоны. Метод позволяет оперативно определять острую токсичность водных проб и предназначен для контроля токсичности природных, сточных, питьевых вод, водных вытяжек из различных материалов и пищевых продуктов.

К преимуществам инфузორий как тест-объекта относятся:

1. неприхотлива в культивировании;
2. сочетает в себе как черты сильно усложнённой клетки, так и особенности самостоятельного организма со сложными формами поведения,
3. по чувствительности к ядам не уступает, а часто и превосходит другие тест-объекты;
4. всепланетное распространение их видов при сохранении свойств.

4. Основные характеристики

Инфузория туфелька относится к подцарству простейших или одноклеточных животных (Protozoa) к многочисленному (свыше 7 тысяч видов) типу реснитчатых или инфузорий (Ciliophora), к роду *Paramecium*, виду *Paramecium Caudatum*.

Инфузория туфелька широко распространена в природе. Живет в пресных водоёмах. По сравнению с другими группами простейших инфузории имеют наиболее сложное строение и отличаются разнообразием и сложностью функций.

Это одноклеточное животное, наиболее сложное среди микроорганизмов по строению и функциям. Имеет постоянную эллипсоидную форму благодаря наличию хитиновой оболочки. Имеет ядро с двойным набором хромосом, специальные органеллы для осуществления пищеварения, дыхательных и др. функций. У одного из концов туфельки расположен рот (1). Ведущий в глотку (2), куда пища загоняется при помощи ресничек, расположен вокруг рта [9].

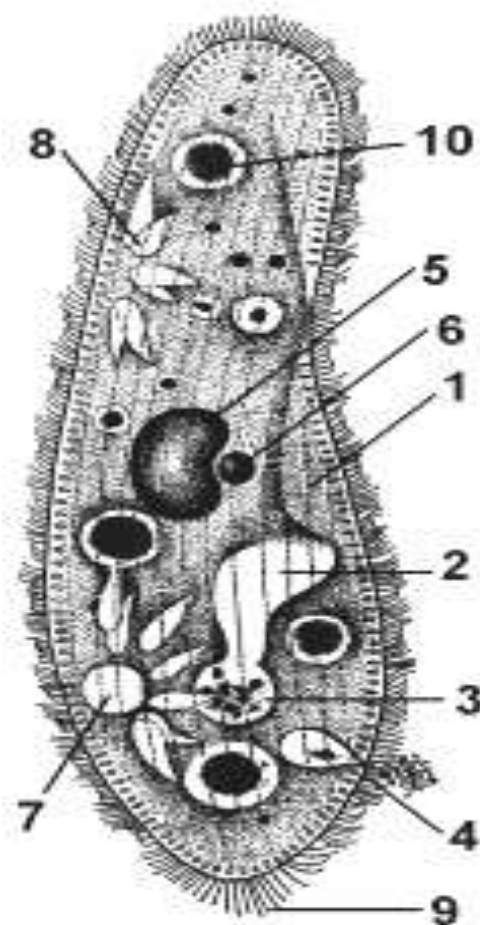


Рис.2. Paramecium Caudatum

Пережевывание пищи происходит в пищеварительных вакуолях (3, 10), а непережеванные остатки выбрасываются через порошицу (4), содержимое сократительных вакуолей (7, 8) изливается через выделительные поры. Размеры инфузории — 200х40 мкм.

Универсальная реакция *Paramecium caudatum* на всякое внешнее раздражение – двигательная активность, которая чаще всего проявляется в изменении направления движения (клинокинез). Под влиянием механических и химических раздражителей инфузория прекращает нормальное движение передним концом вперед и переходит к попятному движению (реакция избегания). В редких случаях отмечается ортокинез – изменение скорости движения без изменения направления.

В чистой культурной среде инфузории двигаются прямолинейно, пока не наткнутся на препятствия или бактериальное облако, тогда скорость движения падает, длина пробега сокращается, могут падать на дно. Биологический смысл этих изменений в том, что это позволяет туфельке дольше находиться в области, где присутствует пища.

5. Размножение

Инфузория туфелька размножается бесполом и половым способом (рис. 3).

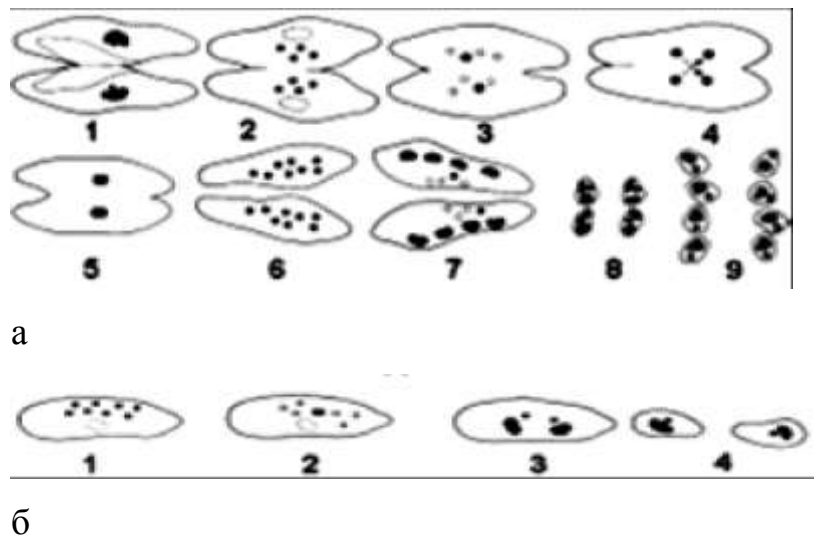


Рис. 3. Половое (а) и бесполое (б) размножение инфузории *Paramecium Caudatum*

Бесполое размножение происходит путём поперечного деления клетки.

Тело туфельки вытягивается в длину, посередине тела появляется поперечная перетяжка, которая постепенно увеличивается, инфузория туфелька перешнуровывается пополам, и из одной материнской особи получается две, несколько меньших размеров. Процесс этот при комнатной температуре занимает около 1 ч и происходит 1 – 2 раза в сутки. Через несколько поколений бесполое размножение сменяется половым, называемым конъюгацией или копуляцией.

При этом две инфузории соединяются друг с другом околотротовыми областями, в этом месте происходит разрушение пелликулы, и образуется цитоплазматический мостик, соединяющий обе инфузории. В теле каждого участника макронуклеус (большое ядро) разрушается, а микронуклеус (малое ядро) делится на 4 части, образуя 4 гаплоидных ядра.

Вскоре 3 новых ядра разрушаются, а четвертое вновь делится и образует в каждой инфузории одно женское (стационарное, которое остается на месте) и одно мужское ядро.

Мужское ядро мигрирует по цитоплазматическому мостику в другую инфузорию, где сливается с женским ядром. После этого инфузории расходятся. Конъюгация продолжается до 12 ч. Таким образом, при половом процессе происходит обмен ядерным материалом между отдельными особями, которые получают новые признаки и свойства. Вскоре в каждой из них ядро делится на большое и малое. В результате конъюгации из двух особей образуется восемь. При половом размножении происходит объединение в одном организме наследственных свойств 2-х особей, что повышает жизнеспособность организма, которая выражается в лучшей приспособленности к условиям окружающей среды.

6. Методы выращивания культуры

Инфузория туфелька – хорошо изученная лабораторная культура. Для нее определены оптимальные режимы выращивания и основные факторы, влияющие на скорость роста. К таким факторам относятся, в первую очередь, количество и качество корма, температура, кислородный режим, рН среды, накопление продуктов метаболизма. Согласно литературным данным [9 – 11] лучшим кормом для *Paramecium caudatum* являются бактерии *Bacillus subtilis*, *Aerobacter aerogenes*, а также смесь бактерий и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*.

Хорошие результаты получены при выращивании инфузории туфельки на сухих пекарских дрожжах, лейкоцитарном масле, сухом молоке и других кормах. Оптимальная температура для выращивания культуры *Paramecium Caudatum* составляет 26 – 28 С, оптимальный рН – 6,8 – 7,0. Кроме того, для нормальной жизнедеятельности культуре необходим кислород. При выращивании в сосудах с большой поверхностью жидкости, например, в чашках Петри или подобных ёмкостях, достаточно кислорода, поступающего через поверхность жидкости. При увеличении соотношения объема жидкости к ее поверхности ухудшается кислородный режим, культура без аэрации развивается плохо. На потребность культуры в кислороде влияют также температура выращивания и количество корма. В лабораторных условиях разработаны различные методики по выращиванию *Paramecium Caudatum*. Можно вести культуру в периодическом режиме, с регулярными пересевами на свежую среду. Также можно культивировать инфузорию туфельку в непрерывном режиме, в специальном аппарате с подачей воздуха, пищи, обогревом.

Наиболее простым является способ периодического выращивания культуры, т.к. он доступен любому лаборанту даже небιологического профиля, не требует специальных микробиологических сред, а следовательно, данную экспресс-методику биотестового анализа можно использовать в любой лаборатории, как научно-исследовательского профиля, так и заводской.

7. Механизмы двигательной активности инфузорий

1) Виды локомоций

Локомоция (от лат. *locus* – место и *motio* – движение) – это совокупность координированных (согласованных) движений, при помощи которых животное активно перемещается в пространстве.

Некоторые ресничные инфузории находятся в непрерывном движении, тогда как другие нередко приостанавливаются и лежат неподвижно более или менее продолжительное время, а третьи ведут неподвижный образ жизни и только при наступлении конъюгации или образовании новых колоний временно переходят в свободноподвижное состояние. Различные движения обуславливаются, главным образом, пищей; так, например, хищники, находясь в непрерывной погоне за добычей, плавают безостановочно, тогда как инфузории, питающиеся бактериями, нередко подолгу лежат неподвижно на одном месте, заглатывая бактерии. Большинство ресничных инфузорий движется равномерно и одинаково искусно и быстро вперед и назад, причем движения сопровождаются большей частью вращением тела вокруг продольной оси. Н у *peritricha*, снабженные крючьями и щетинками на брюшной стороне, очень искусно и быстро бегают при помощи этих приспособлений по различным предметам, а также и цепляются ими. *Peritricha*, имеющие лишь два венчика ресничек (один адоральный, а другой - образующийся при переходе к свободноплавающему состоянию на заднем конце тела), описывают при плавании большие круги. Другие, наконец, постоянно изменяют направление движения и подчас быстро мечутся в разные стороны или делают большие прыжки (некоторые *Oligotricha*) при помощи, так называемых, дрыгательных щетинок.

2) Описание движения инфузорий

Инфузории находятся в непрерывном, довольно быстром движении. Скорость её при комнатной температуре 2,0-2,5 мм/с. За 1 секунду туфелька пробегает расстояние, превышающее длину её тела в 10-15 раз. Траектория движения *Paramecium caudatum* довольно сложная: она движется вперед, вращаясь вдоль продольной оси тела с помощью ресничек, количество которых достигает 10-15 тысяч

Туфелька плавает благодаря согласованной работе ресничек. Реснички одна за другой совершал ритмичные гребки, и по телу инфузории как бы пробегает волна гребных движений от переднего конца к заднему. Каждая волна распространяется в диагональном направлении, поэтому туфелька перемещается по спиральной траектории, вращаясь вокруг своей продольной оси.

Биение ресничек асимметрично (рис.4); после быстрого и энергичного удара прямой реснички она изгибается и медленно возвращается в исходное положение. Реснички способны воспринимать внешние раздражения.

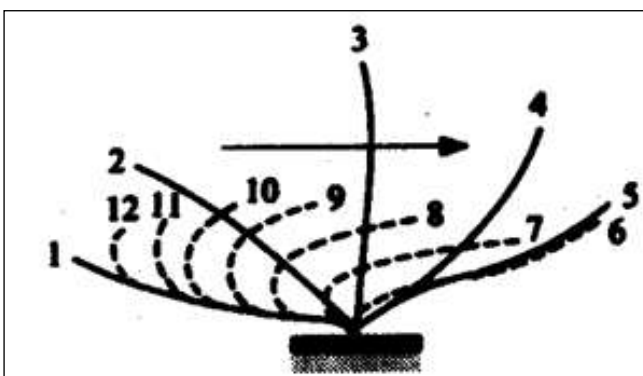


Рис.4. Последовательные стадии движения реснички. Рабочее движение реснички начинается из положения 1.

3) Исследование основных факторов, влияющих на движение инфузорий

Тест-реакции инфузорий *P. Caudatum* отражают воздействия различных вредных факторов. Особый интерес представляют реакции, базирующиеся на перемещениях целостных организмов в среде. Локомоции клеток отражают их функциональное состояние, а наличие специфической реакции на внешние раздражители позволяет регистрировать изменения параметров движения. Поведенческие реакции микроорганизмов принято называть этологическими (от греч. *ετος* – характер). Их использование позволяет определять степень влияния исследуемого фактора на популяцию. Локомоции, возникающие под действием раздражителей, делят на таксисы и кинезы.

Изменение внешних условий (температура, химический состав среды и другие факторы) воспринимаются клеткой, и первая ответная реакция – изменение характера движения: уменьшение или увеличение скорости, частоты остановок и разворотов, разнообразные таксисы, например, гео-, магнито-, аэро-, хемотаксис.

Инфузория реагирует на прикосновение, высокие концентрации в среде различных химических веществ, содержание кислорода и углекислого газа, изменение интенсивности освещения. Если перед инфузорией неожиданно возникает препятствие или она попадает в зону неблагоприятных воздействий, работа ресничек моментально прекращается и возобновляется уже в противоположном направлении. Теперь инфузория движется уже под углом к прежней траектории. Она продолжает движение в новом направлении до тех пор, пока ей не удастся обойти препятствие или же условия не станут вновь благоприятными. Это пример поведения, направленного на поиск оптимальных условий методом проб и ошибок. Это позволяет ей своевременно уловить изменение условий по ходу ее движения.

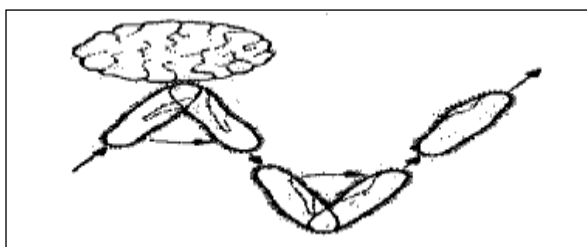


Рис.5. Реакция избегания у Paramecium.

Реакция избегания у парамеции контролируется следующим образом (рис.5): когда инфузория наталкивается на препятствие, направление биения ресничек у нее меняется на противоположное, а затем она возобновляет движение вперед. Такое изменение стимулируется внезапным притоком ионов Ca^{2+} в клетку в результате повышения проницаемости для этих ионов. Теперь инфузория движется уже под углом к прежней траектории. Она продолжает движение в новом направлении до тех пор, пока ей не удастся обойти препятствие или же условия не станут вновь благоприятными.

На примерах кинезов видно, что градиенты внешних раздражителей выступают у простейших одновременно как пусковые и направляющие стимулы. Особенно наглядно это проявляется при клинокинезах. Однако изменения положения животного в пространстве еще не являются здесь подлинно ориентирующими, поскольку они носят ненаправленный характер. Для достижения полного биологического эффекта клинокинетические, как и ортокинетические, движения нуждаются в дополнительной коррекции, позволяющей животному более адекватно ориентироваться в окружающей его среде по источникам раздражения, а не только менять характер движения при неблагоприятных условиях.

Ориентирующими элементами являются простейшие таксисы. В ортокинезах ориентирующий компонент - ортотаксис - проявляется в изменении скорости передвижения без изменения его направления в градиенте внешнего раздражителя. В клинокинезах этот компонент называется клинотаксисом и проявляется в изменении направления движения на определенный угол (рис.6).

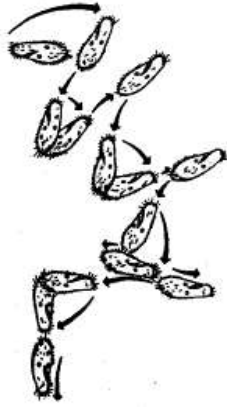


Рис.6. Клинотаксисное поведение инфузории в температурном градиенте. Попад в теплую зону (вверху), инфузория уходит в более прохладную (внизу).

Под **таксисами** понимают генетически фиксированные механизмы пространственной ориентации двигательной активности животных в сторону благоприятных (положительные таксисы) или в сторону от неблагоприятных (отрицательные таксисы) условий среды.

Зачастую клинотаксисы проявляются в ритмичных маятникообразных движениях (на месте или при передвижении) или в спиралевидной траектории плывущего животного. И здесь имеет место регулярный поворот оси тела животного (у многоклеточных животных это может быть и только часть тела, например голова) на определенный угол.

Клинотаксисы обнаруживаются и при встрече с твердыми преградами. Вот пример соответствующего поведения инфузории (туфельки). Наткнувшись на твердую преграду (или попав в зону с другими неблагоприятными параметрами среды), туфелька останавливается, изменяется характер биения ресничек, и животное отплывает немного назад. После этого инфузория поворачивается на определенный угол и снова плывет вперед. Это продолжается до тех пор, пока она не проплывет мимо преграды (или не минует неблагоприятную зону).



Рис.7. Зависимость поведения инфузории от угла встречи с преградой.

Согласно данным, инфузории не всегда ведут себя подобным образом. Клинотаксисы наблюдаются лишь при встрече с преградой под углом в 65-85° (рис.7, 1). Если же встреча произойдет под прямым углом, инфузория переворачивается через поперечную ось тела и "отскакивает" назад (рис.7, 2). Если же животное встречается с преградой по касательной, оно проплывает мимо, свернув в сторону (рис.7, 3).

Если же, наоборот, туфелька натывается не на твердое препятствие, а на мягкий объект (например, растительные остатки, фильтровальная бумага), она реагирует иначе: при такой слабой тактильной стимуляции инфузория останавливается и прикладывается к этой поверхности так, чтобы максимальный участок тела соприкасался с поверхностью объекта (положительный тигмотаксис). Аналогичная картина наблюдается и при воздействиях других модальностей на направление движения, т.е. положительный или отрицательный характер реакции зависит от интенсивности раздражения. Как правило, простейшие реагируют на слабые раздражения положительно, на сильные - отрицательно, но в целом простейшим больше свойственно избегать неблагоприятных воздействий, нежели активно искать положительные раздражители.

Важно отметить, что у инфузорий обнаружены специальные рецепторы тактильной чувствительности - осязательные "волоски", которые особенно выделяются на переднем и заднем концах тела. Эти образования служат не для поиска пищи, а только для тактильного обследования поверхностей объектов, с которыми животное сталкивается.

Особенностью тигмотаксисной реакции является то, что она часто ослабевает, а затем и прекращается после прикосновения к объекту максимальной поверхностью тела: приставшая к объекту туфелька в возрастающей мере начинает реагировать на иной раздражитель и все больше отделяется от объекта. Затем, наоборот, вновь возрастает роль тактильного раздражителя и т.д. В результате животное совершает возле объекта ритмичные колебательные движения.

Четко выражена у туфельки и ориентация в вертикальной плоскости, что находит свое выражение в тенденции плыть вверх (отрицательный геотаксис - ориентация по силе земного притяжения).

Кроме упомянутых таксисные реакции установлены у простейших также в ответ на химические раздражения (хемотаксисы), электрический ток (гальванотаксисы) и др. На свет часть простейших реагируют слабо, у других же эта реакция выражена весьма четко. Инфузории не реагируют на изменения освещения.

Частота смены направлений может рассматриваться как информативный параметр воздействия токсичных факторов.

Жизненно важной популяционной реакцией для организмов является **отрицательный хемотаксис** – их уход из зоны опасности, содержащей вредные для жизни вещества. Причиной таксисов также могут являться электрические стимулы (гальванотаксис).

Хемотаксис инфузорий приводит к уменьшению концентрации организмов в зоне повышенной токсичности и, в конечном счете, к уходу всей популяции из опасной зоны. Перемещение происходит очень быстро за 10-15 мин. Оно хорошо наблюдается под микроскопом с увеличением 5÷10 раз. Эта особенность инфузорий дает возможность применить хемотаксис в качестве экспрессной тест-реакции для обнаружения вредных веществ.

Гальванотаксис инфузорий – направленное движение инфузорий к катоду при наличии токов (менее 1 мА) в исследуемой среде.

Чувствительность к электрическому току зависит от токсичности среды, в которой проводится тест-реакция. Время реакции составляет несколько секунд, её ход легко отслеживается под микроскопом с увеличением 5÷10 раз. Наличие гальванотаксиса у инфузорий позволяет использовать это свойство как основу для проведения экспрессного метода обнаружения вредных веществ.

У инфузорий также проявляется **отрицательный геотаксис** – так условно называется их свойство всплывать в верхние слои жидкости, которое характеризуется, как движение против гравитационного поля Земли. Хотя природа геотаксиса неясна, его широко используют как **макрофункцию**, например, для очистки популяции инфузорий от частиц корма и концентрирования организмов в верхних слоях жидкости.

Методы исследования микроорганизмов, основанные на этих реакциях обеспечивают большую экспрессность и чувствительность, по сравнению с методами, основанными на реакции роста-размножения.

Летальность– изменение параметров жизнеспособности популяции клеток, которая характеризуется уменьшением концентрации клеток под воздействием вредного фактора. Гибель микроорганизмов – многоуровневый процесс, который имеет много фаз, поэтому о гибели клеток судят косвенно по исчезновению их подвижности в среде. К фазам процесса гибели следует отнести резкое снижение собственной подвижности и оседание их на дно.

ГЛАВА №7:

Постановка эксперимента исследования токсичности водной среды

Общая схема проведения эксперимента представлена на рис. 9:

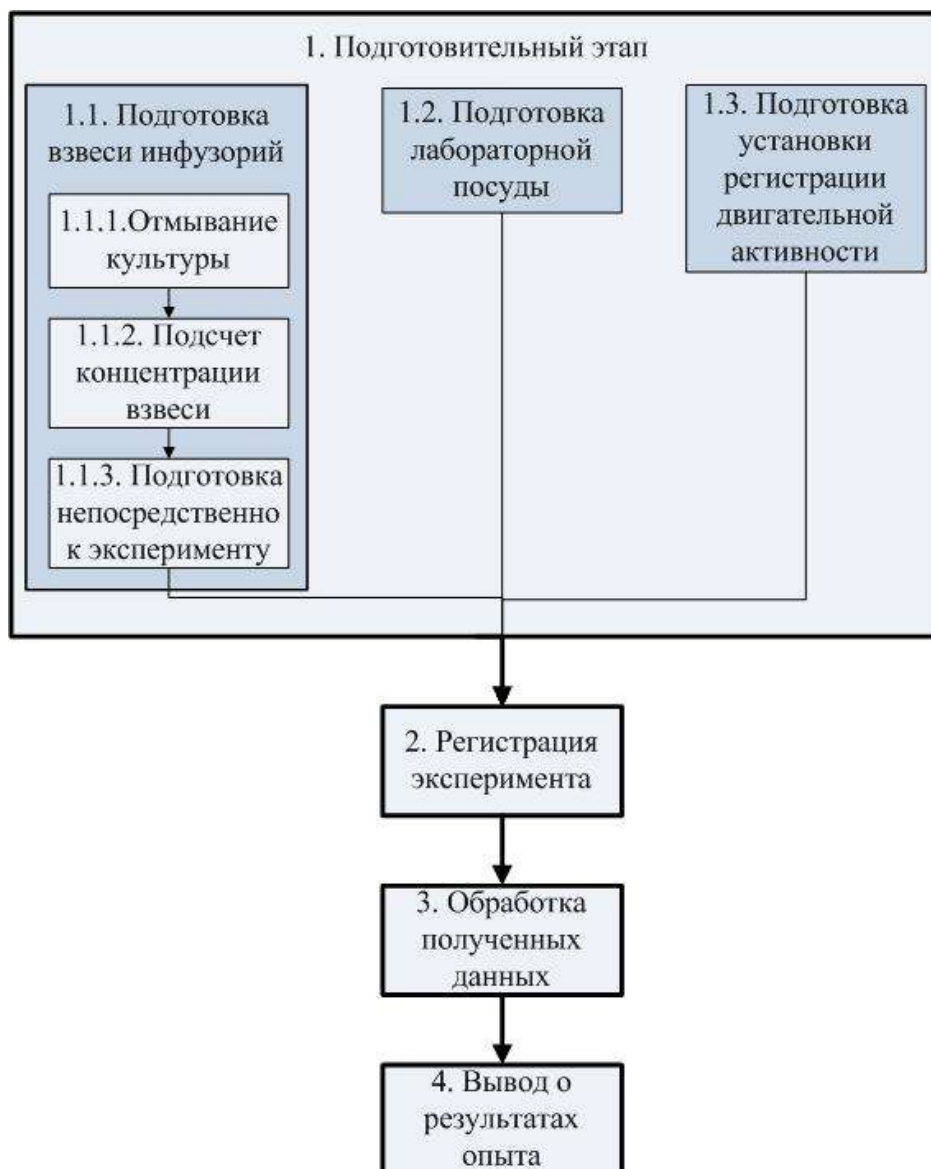


Рис.9. Общая схема проведения эксперимента.

1. Подготовительный этап

Подготовка тест-объекта к опыту.

А) Отмывание культуры.

Отмывание необходимо для того, чтобы при исследовании в кювету не попадали посторонние частицы, иначе результаты исследований будут ложными, так как в такой ситуации на полученных в ходе эксперимента изображениях будут посторонний ложный сигнал, который будет визуально похож на движение инфузорий, хотя на самом деле это будет движение этих самих частиц (остатков дрожжей и продуктов метаболизма). Также при отмывании происходит отбор из популяции активных микроорганизмов.

Подсчет концентрации взвеси. Перед началом эксперимента необходимо произвести подсчет концентрации, чтобы избежать слишком концентрированной взвеси, т.к. этот параметр влияет на характер движения клеток. В данной работе подсчет концентрации взвеси осуществлялся следующим образом:

- приостановление движения взвеси при помощи 10% раствора NaCl;
- внесение 1 мл остановленной взвеси в чашку Петри несколькими каплями;
- визуальный подсчет клеток под микроскопом МБС-12.

Подготовка непосредственно к опыту. Данный этап включал в себя разведение взвеси до необходимой концентрации ($650 \pm 10 \%$ кл/мл).

В данной таблице представлены используемые реагенты и критерии их выбора.

Название раствора	Температура Замерзания (максимальная)	Коррозийная активность	Воздействие на животных И природ. среду	Экономичность	Воздействие На Материалы В быту
NaCl	-15	Отрицательно влияет на состояние металлов.	Безопасен.	95р - 25кг NaCl	Способен действовать вредоносно.
CaCl ₂	-48	Может оказывать антикоррозийные свойства.	Безопасен. Зарегистрирован Как пищевая добавка E509.	315р - 25кг CaCl ₂	Безопасен.
MgCl ₂	-20	Антикоррозийный реагент.	Зарегистрирован Как пищевая добавка E511.	237р - 25кг MgCl ₂	Безопасен.
HCOONa	-15	Антикоррозийный реагент.	Вещество 4 класса Опасности.	472р - 25кг HCOONa	Применяется в строительстве. Безопасен.
Бионорд	-30	Антикоррозийный реагент.	Информация отсутствует.	530р - 25кг Бионорд	Воздействует вредоносно.
NaNO ₃	-15	Антикоррозийный реагент.	Безопасен.	467р - 25кг NaNo3	Безопасен.

2 Подготовка лабораторной посуды.

Опыты проводились в оптических кюветах объёмом 4 мл для работы с прибором «Биотестер-2», состоящих из стекла К8 с длиной оптического пути 1 мм.

Требования к лабораторной посуде:

1. оптическую кювету необходимо прокипятить в растворе гидрокарбоната натрия NaHCO_3 , ополоснуть дистиллированной водой и вновь прокипятить в дистиллированной воде;
2. перед каждым проведением серии опыта, а также между опытами в серии необходимо ополаскивать кювету раствором Лозин-Лозинского.