

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

*Н.В. Фомина*

## **РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Методические указания  
для проведения лабораторных работ*

*Электронное издание*

Красноярск 2017

*Рецензент*

М.В. Чижевская, канд. биол. наук, доц. каф. инженерной экологии  
Сибирского государственного аэрокосмического университета  
им. акад. М.Ф. Решетнева

***Фомина, Н.В.***

**Рекультивация городских территорий:** метод. указания для проведения лабораторных работ [Электрон. ресурс] / Н.В. Фомина; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 44 с.

Методические указания содержат руководство по проведению лабораторных работ, оценивающих состояние городской среды.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.10 «Ландшафтная архитектура».

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Красноярского государственного аграрного университета

© Фомина Н.В., 2017

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный  
аграрный университет», 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 4  |
| Лабораторная работа № 1. КАЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕГКО- И СРЕДНЕРАСТВОРИМЫХ ФОРМ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЫ.....                         | 5  |
| Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....   | 11 |
| Лабораторная работа № 3. СРАВНЕНИЕ ТРАНСПИРАЦИИ ЛИСТА У РАСТЕНИЙ РАЗНЫХ ГРУПП МЕТОДОМ ШТАЛЯ (ХЛОРКОБАЛЬТОВАЯ ПРОБА).....                            | 13 |
| Лабораторная работа № 4. ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ РАСТЕНИЙ ПРИ ГОЛОДАНИИ ПО ЭЛЕМЕНТАМ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ.....                                      | 15 |
| Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЫЯВЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИГРЕССИИ ТРАВЯНИСТОГО СООБЩЕСТВА.....                                  | 18 |
| Лабораторная работа № 6. БИОМОНИТОРИНГ ПАРКОВ И СКВЕРОВ.....  | 21 |
| Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ МАССЫ РАСТВОРИМЫХ И НЕРАСТВОРИМЫХ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ.....                             | 24 |
| Лабораторная работа № 8. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ (ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ (ПХЗ-10))..... | 26 |
| Лабораторная работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ И ЩЕЛОЧНОСТИ СТОЧНЫХ ВОД.....  | 29 |
| Лабораторная работа № 10. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ.....   | 31 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....   | 38 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....   | 39 |
| ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....  | 40 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ.....   | 41 |

## ВВЕДЕНИЕ

Рекультивация городских территорий в большей степени подразумевает улучшение состояния почвы и фитоценоза городской среды. Экологические функции городских почв складываются из способности почв обеспечивать произрастание травянистой и древесно-кустарниковой растительности, а также жизнедеятельность почвенных организмов; способности поглощать загрязняющие вещества и предотвращать их проникновение в сопредельные природные среды; способности поддерживать биоразнообразие на территории города.

Эффективность реализации городскими почвами основных экологических функций, перечисленных выше, обуславливается их качеством, под которым следует подразумевать совокупность физических, химических, биологических и прочих свойств почв. Наиболее часто встречаемым неблагоприятным фактором антропогенного воздействия на почвенный покров, особенно на участках завершившегося строительства, является захламление поверхности грунта строительным мусором и значительное переуплотнение почвы за счет воздействия крупногабаритной техники. Переуплотнение приводит к ухудшению водно-воздушных свойств почвы и, как следствие, вызывает угнетение роста растительности.

Таким образом, с одной стороны, в результате регулярного антропогенного (техногенного) воздействия, которое невозможно исключить при современном укладе жизни, происходит неизбежное ухудшение качества городских почв. С другой стороны, с целью обеспечения благоприятной эколого-геохимической обстановки, безопасности для здоровья человека и необходимого плодородия для зеленых насаждений необходимо поддерживать качество городских почв на необходимом уровне. Кроме того, в качестве оценочных показателей состояния городской среды необходимо учитывать состояние воды и воздуха.

Курс «Рекультивация городских территорий» построен на последовательном освоении теоретического материала, закрепляемого лабораторными работами, решением задач, изучением терминов и понятий. Лабораторные работы составлены с учетом осваиваемых компетенций по направлению подготовки 35.03.10 «Ландшафтная архитектура».

## **Лабораторная работа № 1. КАЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕГКО- И СРЕДНЕРАСТВОРИМЫХ ФОРМ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЫ**

Легко- и среднерастворимые соединения почвы имеют исключительно большое значение для почвообразования. Состав и количество именно этих наиболее подвижных в химическом отношении соединений определяют, в первую очередь, питание растений и оказывают существенное влияние на плодородие почвы.

Содержание в верхней части почвенного профиля легкорастворимых солей в количестве, превышающем 0,2 %, свидетельствует о засоленности почвы, при содержании легкорастворимых солей в количестве более 1 % почвы относятся к солончакам. Засоленные почвы, не подвергшиеся специальным мелиоративным мероприятиям, малопригодны для производственного использования. Отрицательное влияние легко- и среднерастворимых солей на плодородие почвы неодинаково. Наиболее вредна для растений сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), хлориды ( $\text{NaCl}$ , особенно  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{CaCl}_2$ ) и сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Легкорастворимые соединения, повышающие плодородие почв, – это нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ). Из среднерастворимых соединений безвредными солями являются карбонаты кальция и магния, а также сульфат кальция – гипс. Вредное влияние на растения оказывают гидраты закиси железа, гидраты окиси безвредны.

### ***Задание 1. КАЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАРБОНАТОВ***

Из опытного образца берут небольшое количество почвы и переносят в фарфоровую чашку. На почву из пипетки капают несколько капель 10 %-й соляной кислоты. При наличии карбонатов имеет место следующая реакция:  $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

Образующийся при реакции углекислый газ выделяется в виде пузырьков (почва «кипит»). Кислоту добавляют до прекращения выделения пузырьков. По интенсивности выделения углекислого газа и количеству израсходованной соляной кислоты судят о более или менее значительном содержании карбонатов.

## **Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

### *Качественный анализ водной вытяжки почвы*

1. Из подготовленной к анализу почвы взять навеску 25 г (на технических весах) и перенести в колбу на 200 мл.
2. Залить навеску 50 мл дистиллированной воды.
3. Колбу взболтать несколько раз и содержимое отстоять в течение 5–10 мин.
4. Отфильтровать вытяжку с бумажным фильтром.
5. Прodelать некоторые определения.

### *Качественное определение хлоридов*

1. Поместить 1 мл фильтрата в пробирку. Добавить несколько капель 10 %-го раствора азотной кислоты. По каплям прибавить 1 %-й раствор перманганата калия, в отверстие пробирки поместить йодкрахмальную бумажку. Нагреть пробирку на спиртовке до кипения. При наличии хлоридов бумажка посинеет.

2. По интенсивности посинения бумажки судят о количестве хлоридов в почвенном растворе.

3. Записать в таблицу результаты, указав присутствие какого-либо компонента знаком (+), а отсутствие – знаком (-).

| № п/п | Название почвы | Номер разреза, горизонт, глубина взятия образца | Содержание хлоридов, % |                   |                  |
|-------|----------------|---|------------------------|-------------------|------------------|
|       |                |   | Бумажка синяя          | Сильное посинение | Слабое посинение |
|       |                |   |                        |                   |                  |
|       |                |   |                        |                   |                  |
|       |                |   |                        |                   |                  |

### Качественное определение сульфатов

1. Поместить в пробирку 5 мл вытяжки и добавить несколько капель концентрированной соляной кислоты и 2-3 мл 20 %-го раствора хлорида бария.

2. Нагреть раствор до кипения. При наличии сульфатов происходит следующая реакция:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 = \text{NaCl} + \text{BaSO}_4$ .

3. Сульфат бария выпадает в виде белого мелкокристаллического осадка. Образование *ясно видимого белого осадка* свидетельствует о содержании сульфатов в количестве нескольких десятков % и *более*, *сильная белая муть* указывает на содержание сульфатов в количестве сотых долей %. Слабая муть заметна лишь на черном фоне, получается при содержании сульфатов в количестве тысячных долей.

4. Записать результаты в таблицу:

| № п/п | Название почвы | Номер разреза, горизонт, глубина взятия образца | Содержание сульфатов |                 |                |
|-------|----------------|---|----------------------|-----------------|----------------|
|       |                |   | Белый осадок, %      | Сильная муть, % | Слабая муть, % |
|       |                |   |                      |                 |                |

### Качественное определение нитратов

1. Водную вытяжку почвы в количестве 5 мл поместить в пробирку.

2. Прибавить по каплям раствор дифениламина в серной кислоте. При наличии нитратов раствор окрашивается в синий цвет.

3. Записать результат в таблицу:

| № п/п | Название почвы | Номер разреза, горизонт, глубина взятия образца | Наличие нитратов |     |
|-------|----------------|---|------------------|-----|
|       |                |   | Есть             | Нет |
|       |                |   |                  |     |

### Качественное определение кальция

1. Водную вытяжку почвы в количестве 10 мл поместить в пробирку.

2. Подкислить 1-2 каплями 10 %-й раствор соляной кислоты и добавить 5 мл 4 %-го раствора щавелевокислого аммония (оксалата аммония). При наличии кальция протекает реакция



Выпадающий белый осадок щавелевокислого кальция свидетельствует о содержании кальция в количестве десятых долей и единиц %. При содержании кальция в количестве сотых и тысячных долей % наблюдается не осадок, а легкое помутнение раствора.

3. Записать результат в таблицу:

| № п/п | Название почвы | Номер разреза, горизонт, глубина взятия образца | Содержание кальция |                               |
|-------|----------------|---|--------------------|-------------------------------|
|       |                |   | Осадок, %          | Легкое помутнение раствора, % |
|       |                |   |                    |                               |
|       |                |   |                    |                               |
|       |                |   |                    |                               |

### **Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

*Оборудование:* технические весы; фильтры; стеклянные палочки; колбы; пробирки; фарфоровые чашки.

*Реактивы:* 10 %-я азотная кислота; 0,1 %-й раствор перманганата калия; йодкрахмальная бумага; 10 %-я соляная кислота; 20 %-й раствор хлорида бария; раствор дифениламина в серной кислоте; 4 %-й раствор щавелевокислого аммония; красная кровяная соль; 10 %-й раствор роданистого калия.

## Ход работы

### Качественный анализ солянокислой вытяжки

1. Навеску почвы 25 г поместить в колбу на 200 мл.
2. Залить навеску 50 мл 10 %-го раствора соляной кислоты.
3. Содержимое колбы несколько раз взболтать на протяжении 30 мин, отстоять 5 мин.
4. Отфильтровать через бумажный фильтр.
5. Прodelать ряд операций.

### Качественное определение закисного и окисного железа

1. Поместить в две фарфоровые чашки 5-6 мл солянокислой вытяжки.
2. В первую чашку бросить кристаллик красной кровяной соли. Появляющееся синеватое окрашивание (образование турбулентной кислоты сини) указывает на присутствие закисного железа.
3. Во вторую чашку добавить несколько капель 10 %-го раствора роданистого калия. При наличии окисного железа раствор окрашивается в красный цвет. По интенсивности окрашивания можно судить о количестве окисного железа.

### Качественное определение сульфатов и кальция

1. Поместить в пробирку 5 мл фильтрата и провести определение сульфатов, как указано выше.

Все полученные результаты записать в сводную таблицу:

| Название почвы | Номер разреза, горизонт, глубина взятия образца | Карбонаты (по вскипанию) | Водная вытяжка  |                               |                               |                  | Солянокислая вытяжка |                  |                               |                  |
|----------------|---|--------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
|                |   |                          | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Fe <sup>2+</sup>     | Fe <sup>3+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> |
|                |   |                          |                 |                               |                               |                  |                      |                  |                               |                  |

## **Контрольные вопросы для подготовки**

1. Изучить и описать качественный анализ водной вытяжки почвы.
2. Изучить и описать качественное определение сульфатов.
3. Изучить и описать качественное определение нитратов.
4. Представить характеристику качественного определения кальция.
5. Как происходит качественное определение закисного и окисного железа?
6. Как проводится качественный анализ солянокислой вытяжки?

## Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Материалы и оборудование:* колориметр; мерные колбочки на 10 см; пипетка; воронка; ножницы; ступка; фильтровальная бумага; этиловый спирт; бюксы; сушильный шкаф.

Для работы можно использовать листья растений различных вариантов полевого опыта, которые и на глаз сильно отличаются по интенсивности зеленой окраски. Для анализа берут листья одинакового возраста с одного яруса.

*Цель работы:* обнаружить влияние различных внешних условий городской среды на количество хлорофилла в листьях растений.

### *Ход работы*

1. Навеску листьев около 0,5 г, отвешенную на технических или торсионных весах, мелко нарезать ножницами и растереть в ступке до кашицеобразного состояния. Затем к ней понемногу прилить этиловый спирт так, чтобы общее количество его не превышало 5 мл (см<sup>3</sup>). Далее раствор фильтруют в колбочку емкостью 10 см<sup>3</sup>. На фильтр перенести и всю растертую массу, которую вместе с фильтром промыть спиртом, прибавляемым из пипетки по каплям до совершенного исчезновения зеленой окраски. Раствор в колбочке доводят до метки, взбалтывают и переносят в правый цилиндр колориметра.

2. Колориметрический метод определения концентрации хлорофилла, как и всякий колориметрический метод, основан на сравнении интенсивности окраски двух растворов. Концентрация одного из растворов при этом должна быть известна.

3. В качестве стандартного раствора для определения концентрации хлорофилла можно использовать кристаллический хлорофилл, растворенный в спирте. Для получения искусственного стандартного раствора готовят два раствора: 1) медного купороса (1 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  растворяют в воде в мерной колбочке и доводят объем до 100 мл) и 2) двуххромовокислого калия (2 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  растворяют в 100 мл воды) и смешивают 28,5 мл первого раствора с 50 мл второго.

4. К полученному раствору осторожно добавляют аммиак (2n) до получения ярко-зеленой окраски. Полученный раствор по интенсивности зеленой окраски соответствует содержанию 85 мг хлорофилла в 1 л раствора. Данный раствор (образцовый) наливают в ле-

вый цилиндр колориметра. Соответственно в 10 мл количество хлорофилла будет равно  $C_1 \cdot H_1/100$ .

5. Найденное количество хлорофилла в 10 мл спиртового раствора и будет равно его содержанию во взятой навеске. Содержание хлорофилла в испытуемом материале выражают в процентах к сырой или сухой массе навески.

6. В последнем случае определяют содержание воды во взятом для анализа веществе. Для этого одновременно со взятием навески для определения содержания хлорофилла взять вторую навеску листьев для определения в ней воды путем высушивания до постоянной массы в сушильном шкафу при  $+100-105$  °С. Высушивание ведется в сушильных стаканчиках (бюксах). Все взвешивание проводят на аналитических весах.

7. Узнав процентное содержание воды в исследуемом материале, рассчитать количество ее в навеске, взятой для определения хлорофилла. Найдя это количество воды и вычитая его из свежей массы навески, определить содержание сухих веществ в навеске.

### Содержание хлорофилла в листьях

| Вариант | Навеска | Содержание воды, % | Навеска сухого в-ва | Содержание хлорофилла в навеске, мг | Содержание хлорофилла, % |
|---------|---------|--------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------|
|         |         |                    |                     |                                     |                          |

### Контрольные вопросы

1. Как по содержанию хлорофилла можно определить антропогенную нагрузку?
2. Что является стандартным раствором для определения хлорофилла?
3. В каких районах содержание хлорофилла в листьях растений будет выше? Почему?

### Лабораторная работа № 3. СРАВНЕНИЕ ТРАНСПИРАЦИИ ЛИСТА У РАСТЕНИЙ РАЗНЫХ ГРУПП МЕТОДОМ ШТАЛЯ (ХЛОРКОБАЛЬТОВАЯ ПРОБА)

Метод хлоркобальтовой пробы основан на изменении цвета фильтровальной бумаги, пропитанной хлоридом кобальта. Интенсивность транспирации растений оценивается по поглощению бумагой паров воды, испаряемых поверхностью листа во времени, необходимым для перехода окраски хлоркобальтовой бумаги из голубой (цвет сухого  $\text{CoCl}_2$ ) в розовый (цвет водного  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

Хлоркобальтовый метод определения транспирации листьев, не отделенных от растения, в полевых условиях ограничен сравнительными опытами, так как не позволяет определять абсолютные величины интенсивности транспирации.

*Цель исследования:* изучить интенсивность транспирации на верхней и нижней сторонах листа у растений разных экологических групп и определить ее особенности.

*Объекты исследования:* гигрофиты, мезофиты, суккуленты.

*Оборудование:* хлоркобальтовая бумага; большие канцелярские скрепки или бельевые прищепки; препаровальные иглы; микроскоп; сушильный шкаф; лезвие безопасной бритвы.

*Приготовление хлоркобальтовой бумаги.* Взять равномерную по толщине фильтровальную бумагу или обеззоленные тонкие фильтры и намочить в кювете с раствором хлорида кобальта (приготовленного следующим образом: 6,5 г хлорида кобальта растворяют в количестве смеси 2,5 мл соляной кислоты (250 г/л) и 97,5 мл воды до получения 100 мл) в течение минуты, а затем высушить в подвешенном состоянии на стеклянных палочках до появления равномерного голубого цвета.

*Схема исследования:* накладывают хлоркобальтовую бумагу на листья растений разных экологических групп.

*Методика исследования.* Из предметных стекол или других легких пластин ( $2 \times 5$  или  $4 \times 4$  см) приготовить с помощью скотча папочки, в которые поместить вкладыши из кобальтовой бумаги, равные контуру папки. В дальнейшем папочки с вкладышем закрепить на листе растения так, чтобы лист был внутри вкладыша.

Для прикрепления к листу папочки использовать прищепки, большие канцелярские скрепки или резиновые кольца.

**Интенсивность транспирации сторон листа  
у растений разных экологических групп**

| Вариант<br>опыта              | Время<br>наблюдения |                | Время,<br>за которое<br>порозовела<br>бумага,<br>мин | Количество устьиц<br>в поле зрения<br>микроскопа |         |
|-------------------------------|---------------------|----------------|--|--|---------|
|                               | Начало<br>опыта     | Конец<br>опыта |  | Отдельные<br>подсчеты                            | Среднее |
| Растения,<br>сторона<br>листа |                     |                |  | 1.<br>2.   |         |

**Задание**

По окончании опыта с помощью микроскопа исследовать эпидермис верхней и нижней сторон листа, подсчитать количество устьиц в поле зрения. Для этого просмотреть по 3–5 полей зрения на трех препаратах каждого варианта и вычислить среднее.

Зарисовать эпидермис верхней и нижней сторон листа. Сделать выводы о причинах различной интенсивности испарения верхней и нижней сторон листа данного растения и соотношении между устьичной и кутикулярной транспирацией. На основании результатов исследования сделать заключение и выводы.

**Контрольные вопросы**

1. Принципы приготовления хлоркобальтовой бумаги.
2. В чем суть хлоркобальтового метода определения транспирации листьев?

## Лабораторная работа № 4. ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ РАСТЕНИЙ ПРИ ГОЛОДАНИИ ПО ЭЛЕМЕНТАМ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Внимательное изучение признаков голодания у растений парка, леса, окрестных полей поможет сделать вывод о дефиците тех или иных элементов в данном районе и дать сведения о состоянии почв и рекомендации о внесении недостающих удобрений под культурные растения.

*Материалы и оборудование:* больные листья и побеги растений сада, огорода, поля, леса, пустырей и так далее в период вегетации.

*Цель работы:* познакомиться с признаками голодания по отдельным элементам минерального питания у культивируемых и дикорастущих растений.

### *Ход работы*

Заранее собрать больные листья и поврежденные побеги различных растений. С помощью преподавателя и с использованием имеющихся атласов, книг, пособий в таблице поставить диагноз заболевания растений. Данные внести в таблицу.

### *Задание*

Заполнить таблицу; сделать рисунки; отметить расположение больных листьев на побеге (верхние, нижние); сделать выводы о типичных видах голодания у растений огорода, сада, леса, поля данного района.

### **Установление диагноза заболевания по признакам голодания растений**

| Вид растения и место обитания | Орган (побег, лист: верхний, нижний) | Описание признаков голодания | Рисунок | Диагноз | Способы устранения заболевания |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------|---------|--------------------------------|
|                               |                                      |                              |         |         |                                |

**Признаки заболеваний растений  
при голодании по элементам питания**

| Элемент питания | Признак заболевания   |
|-----------------|---|
| N               | Слабый рост, карликовость, склероморфизм. Отношение побеги / корни сдвинуто в пользу корней. Преждевременное пожелтение более старых листьев, их некротические концы  |
| P               | Задержка цветения, отсутствие роста, фиолетовая окраска листьев и стеблей, тенденция к скручиванию и перевертыванию листьев   |
| K               | Белые и бурые пятна, рваный край листа, дырки, отверстия в листе, краевой ожог листьев (запал). По мере возрастания дефицита элемента повреждения увеличиваются   |
| S               | Сходны с симптомами азотной недостаточности. Отставание в росте растений. Листья от бледно-зеленой до кремовой и желтой окраски. При голодании по сере отсутствует характерный признак азотистого голодания – общее пожелтение всего растения |
| Mg              | Белые или желтые пятна на листьях сливаются, лист буреет и отмирает. При глубоком дефиците листья узкие, по цвету – красные, оранжевые, пурпурные. Наблюдается слабый рост и межжилковый хлороз старых листьев                                |
| Ca              | Гофрированные, сморщенные листья с некротическими зонами. Отсутствие верхушечных почек. Нарушение роста, связанного с делением и растяжением клеток   |
| Fe              | Бледно-желтая окраска ткани листьев между жилками у молодых листьев, жилки остаются зелеными. Хлороз. Малая мощность растения, неурожай. Старые листья поражаются позже сходным образом   |
| Mn              | Однородная желтизна старых и молодых листьев, а также верхушечной почки. Межжилкового хлороза на поздних стадиях нет. На ранних – имеется угнетение роста и межжилковый хлороз  |
| B               | Отмирание верхушечных почек, закрученные, деформированные листья; черная гниль у корнеплодов свеклы, моркови; полые кочерыжки капусты   |
| Zn              | Ярко-желтая окраска всей поверхности листьев и зеленый цвет жилок. Желтые полосы на листьях злаков. Мелколистность верхушечных побегов. «Розеточность», «желтуха», «мелколистность», «пятнистость листьев» – так называется дефицит цинка     |
| Cu              | Бледно-желтая окраска листьев или полосатые закрученные листья. Вдоль краев листьев хлороз с последующим некрозом   |

| Элемент питания | Признак заболевания   |
|-----------------|---|
| Mo              | Узкие, длинные, скрученные листья, выемки на листовой пластинке, хлороз сложных листьев, включая черешок                                    |
| Na              | Растения не испытывают недостатка. Избыток проявляется в виде неоднородной пестроты, некроза верхушек листьев, краев и тканей между жилками |
| Cl              | Из видимых симптомов – увядание растений, остальные симптомы специфичны для отдельных видов растений. Дефицит встречается редко             |

### Контрольные вопросы

1. Назовите признаки недостатка кальция у растений, как они проявляются.
2. В чем проявляются особенности недостатка азота в почве?
3. Назовите характерные признаки недостатка меди.

## **Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЫЯВЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИГРЕССИИ ТРАВЯНИСТОГО СООБЩЕСТВА**

### ***Задание 1. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ***

1. Заложить и зафиксировать пробные площадки в травянистом сообществе.
2. Изучить флористический состав сообщества.
3. Рассчитать коэффициент видового разнообразия Симпсона по формуле  $D = \frac{\sum(n_i(n_i - 1))}{N(N - 1)}$ , где  $\sum$  – знак суммирования;  $n_i$  – число особей каждого вида;  $N$  – общее число видов;  $D$  – коэффициент Симпсона.
4. Определить виды, не свойственные данному фитоценозу.

### ***Задание 2. ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИГРЕССИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ***

Под рекреацией понимают территории (леса, водоемы, горы), используемые для восстановления физических и духовных сил человека, т. е. места массового отдыха населения. Причины возникновения отрицательных последствий делятся на 2 группы. К первой относится несоответствие слишком быстрого роста массового отдыха с отстающим ростом количества учреждений организованного отдыха и благоустройством мест массового отдыха.

Ко второй группе относятся причины, связанные с поведением отдельных отдыхающих лиц или групп: лесные пожары, кострища, самовольные рубки деревьев и кустарников, обламывание ветвей и т. д.

В процессе дигрессии природный комплекс проходит пять стадий:

1. Деятельность человека не вносит в лесной комплекс заметных изменений.
2. Рекреационное воздействие человека выражается в установлении редкой сети тропинок, в появлении среди травянистых растений некоторых устойчивых видов, в начальной фазе разрушения подстилки.

3. Тропиночная сеть сравнительно пуста, в травянистом покрове преобладают светолюбивые виды, начинают появляться и луговые травы, мощность подстилки уменьшается, на нетронутых участках возобновление леса все еще удовлетворительное.

4. Тропинки густой сетью опутывают лес, в составе травяного покрова количество собственно лесных видов незначительно, жизнеспособного подроста молодого возраста (5–7 лет) практически нет, подстилка встречается лишь фрагментарно у стволов деревьев.

5. На данной стадии наблюдается полное отсутствие подстилки и подроста, но встречаются отдельные экземпляры сорных и однолетних видов трав.

Граница устойчивости природного комплекса, т. е. предел, после которого наступают необратимые изменения, проходит между 3-й и 4-й стадиями. Соответственно, за предельно допустимую принимается нагрузка, соответствующая 3-й стадии дигрессии.

### *Ход работы*

1. Заложить и зафиксировать пробные площадки в рекреационной зоне, размеры которых должны быть не менее 100 м (10 × 10); на территории содержащей древесную растительность, – 25 × 25 м.

2. Описать состояния растительного сообщества по таблице.

3. Выявить признаки степени загрязнения и нарушения сообщества, и занести данные в таблицу.

### **Признаки степени загрязнения и нарушения сообщества**

| Признак                  | Количество, % | Оценка, баллы |
|--------------------------|---------------|---------------|
| 1                        | 2             | 3             |
| 1. Суховершинность       |               |               |
| 2. Поломанные деревья    |               |               |
| 3. Поломанные кустарники |               |               |
| 4. Однобокая крона       |               |               |
| 5. Наличие трещин        |               |               |

*Окончание табл.*

| 1   | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 6. Появление видов, несвойственных сообществу |   |   |
| 7. Наличие некрозов                           |   |   |
| 8. Трутовики, дупло, гниль                    |   |   |
| 9. Отсутствие растительности на почве         |   |   |
| 10. Густота тропинойной сети                  |   |   |
| 11. Кострища                                  |   |   |
| 12. Бытовой мусор                             |   |   |
| 13. Мусорные кучи                             |   |   |
| 14. Большая сеть тропинок                     |   |   |
| 15. Поломанные деревья и кустарники           |   |   |
| 16. Большое количество кострищ                |   |   |
| 17. Уплотнение почвы                          |   |   |

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое рекреация, рекреационная нагрузка?
2. Как рассчитать рекреационную нагрузку?
3. Коэффициенты для оценки видового разнообразия.
4. Охарактеризуйте стадии дигрессии природного комплекса.
5. Назовите основные признаки степени загрязнения и нарушения сообщества.

## **Лабораторная работа № 6. *БИОМОНИТОРИНГ ПАРКОВ И СКВЕРОВ***

Биомониторинг парков и скверов осуществляется с учетом реализации научно обоснованных рекомендаций по охране, соблюдению охранного режима и благоустройству, использованию, ремонту, санитарно-гигиеническому уходу со стороны природопользователя.

Форма годовичного отчета по мониторингу в первом разделе должна содержать сведения о географическом положении, площади парка и сквера и др.

Второй раздел включает учет определенных параметров. Список параметров, единиц их измерения по породам (видам) деревьев, кустарников или травянистых растений для ежегодного мониторинга:

1. Количество семенных деревьев среди посаженных по породам.
2. Количество экземпляров деревьев среди патриархов, пораженных вредителями, в том числе грибами.
3. Количество экземпляров деревьев, срубленных при санитарно-гигиенических работах.
4. Количество экземпляров деревьев, посаженных идентично рядом с утраченными.
5. Количество экземпляров деревьев, подвергнутых ремонту дупел.
6. Количество экземпляров деревьев, очищенных от грибов-паразитов.
7. Годичный прирост побегов, см, средних по 10 измерениям, у молодых деревьев (диаметр – до 20 см).
8. Виды кустарников, подвергнутых омоложению или прореживанию.
9. Сроки и виды подкормок, применяемых в парке для поддержания жизни старых деревьев.
10. Сроки и виды защитного воздействия (химического, механического, биологического), применяемого в борьбе с вредителями.
11. Сроки и площади сенокосения на открытых полянах (без выкашивания травы под пологом деревьев).
12. Виды декоративных растений, возделываемые в партерной части парка.

Раз в пять лет проводится полное экологическое обследование по параметрам, приведенным выше. По данным мониторинга вносятся уточнения в экологический паспорт охраняемого объекта.

Для парковых территорий разработан допустимый режим поведения и хозяйствования, применяемый в России.

### **Практические советы по режиму поведения и хозяйствования на парковых территориях**

Парки – национальное достояние, и от нас зависит, сохранятся ли они для наших потомков.

*Допустимый режим поведения и хозяйствования:*

- скашивание травы на освещенных газонах с преобладанием луговых злаков;
- вырубка сухих и усыхающих деревьев и кустарников;
- цветочное оформление парка;
- улучшение состояния дорожно-тропиночной сети без применения твердого покрытия;
- установка скамеек и прочей садово-парковой модели (вдоль дорожек на специальных площадках);
- очистка территории от мусора;
- рекреация по дорожно-тропиночной сети, полное исключение движения по живому надпочечному покрову.

*К видам деятельности, недопустимым в парках, относятся следующие:*

- вырубка живых и относительно здоровых деревьев и кустарников, особенно интродуцентов, мемориальные деревья сохраняются до их естественного отмирания;
- изменение гидрологического режима без проведения изыскательных работ (не допускается спуск воды из водоемов, опасно проведение мелиоративных работ);
- посадка деревьев и кустарников вне плана реконструкции (особенно это касается полян);
- прокладка дорог и коммуникаций на территории парка;
- строительство новых зданий любого типа;
- устройство стоянок для транспорта;
- выкашивание травы под пустым пологом;
- нарушение надпочечного покрова;
- устройство детских и спортивных площадок и сооружений внутри старого парка;
- установка киосков и кафе;

- пастьба и прогон скота через парк;
- отвод небольшого парка для использования его большим количеством людей, например для организации пионерских лагерей;
- расположение вблизи парков предприятий, загрязняющих воздух, воду и почву;
- повреждение деревьев, кустарников и участков ценного надпочечного покрова при проведении реставрационных работ;
- сжигание срубленных остатков на территории мемориальных парков.

### **Контрольные вопросы**

1. Допустимый режим поведения и хозяйствования: принципы реализации.
2. Какие параметры деревьев, кустарников или травянистых растений необходимы для изучения при ежегодном мониторинге?
3. Какие виды деятельности в парках недопустимы?

## Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ МАССЫ РАСТВОРИМЫХ И НЕРАСТВОРИМЫХ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ

### *Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ, ВЫПАДАЮЩИХ НА 1 м<sup>2</sup> ПОВЕРХНОСТИ*

*Оборудование и материалы:* стеклянная или пластиковая посуда с площадью отверстия не менее 50 см<sup>2</sup>; химический стакан; мерный цилиндр; сушильный шкаф; аналитические весы.

*Правила сбора осадков.* Для сбора атмосферных осадков (дождя и снега) используют чистую стеклянную или пластиковую посуду с площадью отверстия не менее 50 см<sup>2</sup>. Для быстрого сбора осадков желательно применять посуду большего диаметра (например стеклянный кристаллизатор). Посуду ставят на высоте не менее 2 м под открытым небом на срок 2–4 недели. По истечении этого срока пробы осадков собирают и по возможности в тот же день исследуют в лаборатории.

Для определения твердых веществ используют метод выпаривания собранного количества осадков с последующим взвешиванием полученного сухого остатка.

#### *Ход работы*

1. Чистый сухой стакан взвесить на аналитических весах с точностью до десятитысячных долей грамма.
2. Поместить в стакан 100 мл исследуемой пробы атмосферных осадков.
3. Далее пробу выпарить в сушильном шкафу при температуре 100–110 °С.
4. По разности масс стакана с полученным сухим остатком и пустого стакана вычислить массу твердых веществ в анализируемой пробе:

$$m_{\text{тв. вещ-в}} = m_{\text{ст. с сухим остатком}} - m_{\text{пустого стакана}}$$

Затем вычислить массу твердых веществ, выпадающих на 1 м<sup>2</sup> поверхности Земли за месяц.

## **Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ НЕРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ**

*Оборудование, материалы, реактивы:* фильтры; воронка; коническая колба; мерный цилиндр; сушильный шкаф; аналитические весы, дистиллированная вода.

### *Ход работы*

1. Взять 100 мл атмосферных осадков и отфильтровать через предварительно взвешенный чистый сухой фильтр.

2. Фильтр с полученным твердым осадком высушить в сушильном шкафу при температуре 40–50 °С до постоянной массы.

3. По разности масс фильтра с сухим осадком и чистого фильтра вычислить массу нерастворимых твердых веществ в исследуемой пробе:

$$m_{\text{нераств. вещ-в}} = m_{\text{фильтра с осадком}} - m_{\text{чистого фильтра}}$$

4. Параллельно выполнить холостой опыт. Для этого через предварительно взвешенный сухой чистый фильтр отфильтровать 100 мл дистиллированной воды. Затем высушить фильтр в сушильном шкафу при температуре 40–50 °С и взвесить его.

5. Операцию высушивания и взвешивания повторяют до постоянной массы, как и с атмосферными осадками. Теоретически масса фильтра не должна измениться, так как дистиллированная вода не содержит твердых веществ. Однако если разность масс, тем не менее, фиксируется, то эту погрешность учитывают при определении массы нерастворимых веществ в исследуемых осадках.

## Лабораторная работа № 8. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ (ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ (ПХЗ-10))

*Цель работы:* оценить качество поверхностной исследуемой воды для оценки экологической обстановки.

*Задачи:*

1. Изучить критерии и их нормативы качества вод рыбохозяйственного назначения (прил. 1) и оценки экологической ситуации (табл. 1).
2. Провести контроль качества исследуемой воды для оценки экологической ситуации (оценить соответствие показателей качества исследуемой воды нормам вод).

**Критериями качества воды** являются две величины показателя химического загрязнения природной воды (ПХЗ-10 веществ 1–2 классов опасности и ПХЗ-10 веществ 3–4 классов опасности) с их нормативными значениями.

**Качество воды** определяется словами: экологическая обстановка исследуемой воды «относительно удовлетворительная», или «чрезвычайная экологическая ситуация», или «экологическое бедствие».

Суммарный показатель химического загрязнения вод ПХЗ-10 рассчитывается по десяти соединениям, максимально превышающим ПДК<sub>р</sub>, с использованием формулы суммирования воздействий:

$$\text{ПХЗ-10} = (C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_{10}/\text{ПДК}_{10}), \quad (1)$$

где  $\text{ПДК}_i$  – рыбохозяйственные нормативы;  $C_i$  – концентрация химических веществ в воде.

При определении ПХЗ-10 для химических веществ, по которым «относительно удовлетворительный» уровень загрязнения вод определяется как их «отсутствие», отношение  $C_i/\text{ПДК}_i$  условно принимается равным 1.

Для установления ПХЗ-10 рекомендуется проводить анализ воды по максимально возможному числу показателей. ПХЗ-10 рассчитывается при выявлении зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия.

Таблица 1 – Критерии оценки степени химического загрязнения поверхностных вод

| Показатель                    | Экологическое бедствие | Чрезвычайная экологическая ситуация | Относительно удовлетворительное |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| ПХЗ-10<br>1–2 класс опасности | Более 80               | 35–80                               | 1                               |
| ПХЗ-10<br>3–4 класс опасности | Более 500              | 500                                 | 10                              |

### *Ход работы*

1. Выписываются реальные результаты анализа природной воды по всем веществам 1–2 классов опасности и 3–4 классов опасности.

2. Сравниваются показатели качества исследуемой воды ( $C_i$ ) с нормативами вод рыбохозяйственного назначения ( $ПДК_i$ ) (прил. 1).

3. По формуле 1 для десяти веществ 1–2 класса опасности с самой большой величиной  $C_i/ПДК_i$  определяется показатель ПХЗ-10, который сравнивается с нормативной величиной (табл. 1).

4. По величине ПХЗ-10<sub>1–2 кл.оп.</sub> оценивается степень загрязнения водоема химическими веществами 1–2 класса опасности: «экологическое бедствие» или «чрезвычайная экологическая ситуация».

5. По формуле 1 для десяти веществ 3–4 класса опасности с самой большой величиной  $C_i/ПДК_i$  определяется показатель ПХЗ-10, который сравнивается с нормативной величиной (табл. 1). По величине ПХЗ-10<sub>3–4 кл.оп.</sub> оценивается степень загрязнения водоема химическими веществами 3–4 класса опасности: «экологическое бедствие» или «чрезвычайная экологическая ситуация».

6. За результирующее состояние исследуемого поверхностного водоема принимается самое опасное по показателю ПХЗ-10.

7. Результаты расчетов представить в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

| №<br>п/п                      | Вещество | $C_i$ , мг/дм <sup>3</sup> | ПДК, мг/дм <sup>3</sup> | $C_i/ПДК_i$ | Участвуют<br>в расчете ИЗВ |
|-------------------------------|----------|----------------------------|-------------------------|-------------|----------------------------|
| Вещества 1–2 класса опасности |          |                            |                         |             |                            |
| 1                             |          |                            |                         |             |                            |
| 2                             |          |                            |                         |             |                            |
| 3                             |          |                            |                         |             |                            |
| 4                             | .....    |                            |                         |             |                            |
| Вещества 3–4 класса опасности |          |                            |                         |             |                            |
| 1                             |          |                            |                         |             |                            |
| 2                             |          |                            |                         |             |                            |
| 3                             |          |                            |                         |             |                            |
| 4                             |          |                            |                         |             |                            |
| 5                             |          |                            |                         |             |                            |
| 6                             |          |                            |                         |             |                            |
| 7                             | .....    |                            |                         |             |                            |

ПХЗ-10<sub>1-2 кл. оп.</sub> = \_\_\_\_\_

ПХЗ-1<sub>3-4 кл. оп.</sub> = \_\_\_\_\_

**Вывод:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Лабораторная работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ И ЩЕЛОЧНОСТИ СТОЧНЫХ ВОД

*Принцип метода:* определение наличия положительных или отрицательных ионов, содержащихся в исследуемой воде посредством титрования с индикаторами.

*Оборудование и реактивы:* исследуемые образцы сточных вод; колбы конические на 250 мл; бюретки для титрования на 25 и 50 мл; раствор едкого натрия 0,1 н.; раствор соляной кислоты 0,1 н.; фенолфталеин, 1 %-й раствор; смешанный индикатор Таширо.

### *Титруемая кислотность*

Кислотность сточных вод обусловлена содержанием в них веществ, вступающих в реакцию с сильными щелочами. К ним относятся сильные (соляная, азотная и др.) и слабые (уксусная, сернистая и др.) кислоты, катионы слабых оснований (аммония, железа, алюминия и др.).

### *Ход работы*

1. Исследуемую воду отфильтровывают (50–100) и помещают в коническую колбу.
2. Затем приливают 1 мл 1 %-го спиртового раствора фенолфталеина и титруют 0,1 н. раствором едкого натра до исчезающего розового окрашивания.
3. Рассчитывают кислотность  $X$  (мг-экв/л) по формуле

$$X = \frac{a \cdot k \cdot 1000 M}{V} \quad (\text{мг-экв/л}),$$

где  $a$  – количество 0,1 н. раствора едкого натра, израсходованного на титрование, мл;

$M$  – молярность раствора едкого натра;

$k$  – поправочный коэффициент для раствора едкого натра;

$V$  – объем сточной воды, взятый для определения, л.

## *Титруемая щелочность*

Щелочность обусловлена содержанием в сточной воде веществ, вступающих в реакцию с сильными кислотами. К ним относятся сильные (едкий натр, едкое кали и др.) и слабые (аммиак, анилин и т. п.) основания, анионы слабых кислот ( $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$  и пр.), анионы гуминовых кислот ( $\text{HS}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ).

### *Ход работы*

1. К 100 мл профильтрованной сточной воды, которую помещают в коническую колбу на 250 мл, приливают 3-4 капли раствора фенолфталеина и титруют на белом фоне 0,1 н. раствором соляной кислоты до исчезновения розовой окраски.

2. Затем прибавляют 5-6 капель смешанного индикатора и продолжают титрование до перехода зеленой окраски в фиолетовую.

3. Рассчитывают щелочность  $X$  (мг-экв/л) по формуле

$$X = \frac{a \cdot k \cdot 1000}{V} \quad (\text{мг-экв/л}),$$

где  $a$  – количество 0,1 н. раствора соляной кислоты, израсходованное на титрование, мл;

$k$  – поправочный коэффициент для раствора соляной кислоты;

$V$  – объем исследуемой воды, л.

### **Контрольные вопросы**

1. Дать определение понятиям кислотность и щелочность. Какие еще виды токсичных веществ вы знаете?

2. Перечислите основные виды химического загрязнения сточных вод, пути попадания загрязняющих веществ.

3. Перечислите возможные методы обеззараживания и очистки сточных вод.

## Лабораторная работа № 10. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

*Описательная часть* – заполнить таблицу на 4 региона, по информации из соответствующих таблиц в описаниях этих субъектов РФ в «Докладе по состоянию окружающей среды». В столбцы 3 и 5 вносится собственная оценка того, как влияет предыдущий показатель на геоэкологическую ситуацию (регион с наилучшей ситуацией по этому показателю – 1 балл, с наихудшей – 3 балла, и для двух оставшихся баллы рассчитываются по пропорции).

| Регион России   | Объем твердых отходов на единицу ВРП (валового регионального продукта) | Балльная оценка интенсивности образования твердых отходов на единицу ВРП | Объем твердых отходов на душу населения | Балльная оценка интенсивности образования твердых отходов на душу населения |
|-----------------|--|--|---|---|
| 1               | 2  | 3  | 4                                       | 5   |
| Основной регион |  |  |   |   |
| Регион № 1      |  |  |   |   |
| Регион № 2      |  |  |   |   |
| Регион № 3      |  |  |   |   |

*Аналитическая часть* – в нескольких фразах (1-2 абзаца) высказать предположения, в каком из рассматриваемых регионов геоэкологическая ситуация по этим показателям хуже и возможные причины этих различий между регионами.

### *Расчет полигона твердых бытовых отходов*

Современные полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) – это комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТБО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов. Поэтому полигоны строят по проекту, выполняемому проектными организациями, в соответствии с требованиями, предъявляемыми строительными нормами и правилами.

Проекты крупных полигонов состоят из следующих основных частей:

- гидрогеологической записки с обоснованием выбора площадки строительства;
- технологической части (расчета вместимости, режима эксплуатации и т. д.);
- генерального плана участка;
- архитектурно-строительной части;
- основных технико-экономических показателей;
- сводной сметы и т. д.

**Этапы проектирования**, которые рассматривают в обязательном порядке:

- установление необходимой вместимости полигона захоронения ТБО;
- исследование и выбор потенциальных участков, определение применимости федеральных, республиканских (областных) и местных требований;
- определение местных технических возможностей в обеспечении потребности полигона в энергии и материалах покрытия;
- рассмотрение возможных направлений последующего использования участка после рекультивации.

Кроме того, для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду при захоронении отходов в мировой практике приняты следующие природоохранные мероприятия и инженерные решения, которые обязательно разрабатывают в проектах:

- *санитарно-защитная зона* – территория, отделяющая жилую застройку от территории, занятой отходами;
- *нижний противодиффузионный экран* – слои глины или геосинтетические мембраны, предназначенные для сбора фильтрата, его откачки и предотвращения попадания в грунтовые воды. (*Фильтрат* – жидкость, которая прошла через твердые отходы или появилась из них и содержит растворимые, взвешенные или осажденные материалы, выделенные из захороненных отходов).

Основная задача проектирования полигонов состоит в том, чтобы разместить отходы в земле согласно определённому графику с минимальным влиянием захороненных отходов на окружающую среду при наименьших затратах.

Размещают полигоны за пределами городов и населенных пунктов. Перед проектированием заказчик с заинтересованными организациями (архитектурно-планировочным управлением, отделом по делам строительства и архитектуры, органами экологии и санэпиднадзора и гидрологической службой) определяют район, в котором подбирают участок для размещения полигона. При этом руководствуются размером санитарно-защитной зоны, которая должна быть не менее чем 500 м от жилой застройки до границ полигона (СП 2.1.7.1038-01), и гидрологическими условиями.

По гидрологическим условиям благоприятными считают участки с отложениями глины и суглинков и залеганием уровня грунтовых вод на глубине более 2 м. Нельзя использовать под полигоны болота глубиной более 1 м и участки с выходом грунтовых вод на поверхность в виде ключей, территории, затопляемые водами, районы геологических разломов, а также участки, расположенные ближе 15 км от аэропортов. Под полигоны отводят отработанные карьеры глин, участки в лесных массивах, овраги, свободные от ценных пород деревьев.

При отводе участка выдают рекомендации по использованию нарушенной территории после закрытия полигона с учетом дальнейшего ее использования: создания лесопаркового комплекса, устройства открытых складов строительных материалов и тары непищевого назначения и другого подобного использования. Капитальное строительство на участках складирования ТБО запрещено из-за выделения ядовитых и взрывоопасных газов в течение длительного времени (свыше 40 лет после закрытия полигона).

Основные элементы полигона – это подъездная дорога, участок складирования ТБО, хозяйственная зона, инженерные сооружения и коммуникации.

Основное сооружение полигона – *участок складирования отходов*, который обычно занимает до 95 % площади полигона. Его разбивают на очереди эксплуатации с учетом приема отходов в течение 3–5 лет. Заполняют каждую очередь по высоте поярусно. Высоту каждого яруса принимают 2–2,5 м, включая толщину слоя изоляции отходов минеральным грунтом.

Участки складирования должны быть защищены от стока поверхностных вод, поступающих с вышерасположенных земельных массивов. Для перехвата дождевых и паводковых вод вокруг полигона проектируют водоотводную канаву. На расстоянии 1–2 м от водоот-

водной канавы устраивают ограждение вокруг полигона. Также по периметру полигона на полосе 5–8 м высаживают древесно-кустарниковую растительность, прокладывают инженерные коммуникации (водопровод, канализацию), устанавливают мачты электроосвещения, отсыпают минеральный грунт для использования его на изоляцию ТБО.

Если проектная высота полигона ТБО не менее 20 м, а нагрузка на использованную площадь превышает  $10 \text{ т/м}^2$ , то такой полигон считается высоконагружаемым.

### *Ход работы*

Расчеты проводятся в 3 этапа.

**1. Первый этап расчета – определение общей вместительности полигона ТБО  $E_T, \text{ м}^3$ , на весь срок его эксплуатации.**

Для этого необходимы следующие исходные данные:

- а) расчетный срок эксплуатации полигона  $T$ , лет (прил. 1);
- б) удельная норма образования бытовых отходов на 1 человека в год  $Y_1$ , в среднем по России составляет  $1,16 \text{ м}^3/(\text{чел}/\text{год})$ ;
- в) скорость ежегодного прироста величины удельной нормы образования отходов  $U$ , %.

В нашем случае для  $U$  примем значение 1,8 %.

Следовательно, через  $T$  лет на 1 человека ежегодно будет образовываться  $Y_2$  бытовых отходов. Причем

$$Y_2 = Y_1 \cdot \left(1 + \frac{U}{100}\right)^T, \text{ м}^3/(\text{чел}/\text{год}); \quad (2)$$

г) численность населения города (населенного пункта) на момент проектирования –  $N_1$ , чел. (найти по каждому населенному пункту);

д) прогнозируемая численность населения города (населенного пункта) через  $T$  лет –  $N_2$ , чел. (найти по каждому населенному пункту);

е) ориентировочная высота «холма» ТБО, согласованная с архитектурно-планировочным управлением города  $H_n^1$ , м (прил. 2);

ж) коэффициент, учитывающий уплотнение засыпанных ТБО в процессе эксплуатации полигона за период  $T \geq 15$  лет ( $K_1$ ). Величину  $K_1$  определяют по таблице, представленной ниже, в зависимости от проектной высоты  $H_n^1$ :

|   |       |
|---|-------|
| Проектируемая высота полигона $H_n^1$ , м | $K_1$ |
| < 10                                      | 3,7   |
| 10–30                                     | 4,0   |
| Более 30                                  | 4,5   |

з) коэффициент, учитывающий объем изолирующих слоев грунта ( $K_2$ ). В зависимости от  $H_n^1$  значение  $K_2$  принимают по данным следующей таблицы:

| Показатель                            | Значение |         |         |          |           |         |       |
|---------------------------------------|----------|---------|---------|----------|-----------|---------|-------|
| Проектная высота полигона $H_n^1$ , м | <5,0     | 5,1-7,0 | 5,1-9,0 | 9,1-12,0 | 12,1-15,0 | 15,1-39 | 40-50 |
| $K_2$                                 | 1,37     | 1,27    | 1,25    | 1,24     | 1,2       | 1,18    | 1,16  |

Таким образом, общая вместимость полигона ТБО  $E_T$ ,  $m^3$ ,

$$E_T = \frac{Y_1 + Y_2}{2} \cdot \frac{N_1 + N_2}{2} \cdot T \cdot \frac{K_2}{K_1}, m^3. \quad (3)$$

## 2. Второй этап расчета – определение площади полигона.

Вначале для ориентировочных расчетов принимают, что полигон ТБО имеет форму пирамиды. Как известно, объем пирамиды

$$V = \frac{1}{3} S \cdot H,$$

где  $S$  – площадь основания пирамиды;  $H$  – ее высота.

Следовательно, площадь участка складирования ТБО

$$S_{y.c.} = \frac{3E_T}{H_n^1}, m^2. \quad (4)$$

Так как необходима площадь для размещения вспомогательной зоны, а также для полосы вокруг полигона и для подъездных дорог (это учтено введением коэффициента 1,1 перед  $S_{y.c.}$ )  $S_{доп.}$ , требуемая площадь полигона  $S_n$  должна быть несколько больше:

$$S_n = 1,1S_{y.c.} + S_{дон} , \quad (5)$$

где, в нашем случае,  $S_{дон}$  равна  $6000 \text{ м}^2$ .

### **3. Третий этап расчета – определение уточненной высоты полигона и расчет котлована.**

После определения величины  $S_{y.c.}$  можно уточнить значение высоты  $H_n^1$ . Для этого надо учесть, что на самом деле «холм» ТБО имеет форму усеченной пирамиды, причем размеры верхней площадки должны обеспечивать безопасные развороты мусоровозов. Следовательно, ширина верхней площадки должна быть не менее 40 м.

Объем усеченной пирамиды:

$$V = \frac{1}{3} (S_H + S_B + \sqrt{S_H \cdot S_B}) H ,$$

где  $S_H$  – площадь нижнего основания;  $S_B$  – площадь верхнего основания;  $H$  – высота пирамиды.

В случае полигона ТБО:

$$E_T = \frac{1}{3} (S_{y.c.} + S_{в.н.} + \sqrt{S_{y.c.} \cdot S_{в.н.}}) H_n^1 , \quad (6)$$

где  $S_{в.н.}$  – площадь верхней площадки,  $\text{м}^2$ . Будем считать, что наш полигон представляет собой в плане квадрат. Принимаем, что минимально допустимые размеры верхней площадки –  $40 \times 40 \text{ м}$ , т. е.  $S_{в.н.} = 1600 \text{ м}^2$ ;  $H_n^1$  – уточненная высота полигона, м.

Отсюда

$$H_n^1 = \frac{3E_T}{S_{y.c.} + S_{в.н.} + \sqrt{S_{y.c.} \cdot S_{в.н.}}} . \quad (7)$$

Потребный объем грунта  $V_G, \text{ м}^3$ , рассчитывают по формуле

$$V_z = E_T \cdot \left( 1 - \frac{1}{K_2} \right) , \text{ м}^3 . \quad (8)$$

В рассматриваемом случае проектируемый котлован должен полностью обеспечить потребность в грунте, следовательно, его объем должен быть равен  $V_2$ . С учетом наличия откосов и картовой схемы полигона можно рассчитать глубину котлована  $H_k$ :

$$H_k = 1,1 \cdot \frac{V_2}{S_{y.c.}}, \text{ м.} \quad (9)$$

В формуле (9) площадь дна для котлована равна  $S_{y.c.}$ .

Затем находят верхнюю отметку полигона ТБО после его наружной изоляции слоем грунта толщиной 1 м:

$$H_{в.о.} = H_n^1 - H_k + 1, \text{ м.} \quad (10)$$

#### ***Порядок расчетов:***

Рассчитав по формуле (3) общую вместимость полигона ( $E_T$ ), определим значение площади участка складирования ( $S_{y.c.}$ ) по формуле (4), а затем – значение площади полигона с учетом дополнительной площади ( $S_n$ ) по формуле (5).

Далее формула (7) позволит уточнить высоту полигона ( $H_n^1$ ).

Наконец, рассчитав по формуле (8) требуемый объем грунта ( $V_2$ ), найдем глубину котлована ( $H_k$ ) и верхнюю отметку полигона ( $H_{в.о.}$ ).

#### **Контрольные вопросы**

1. От чего зависит расстояние между почвенными отвалами?
2. Как рассчитывается площадь отвала?
3. Как определить площадь землевания и мощности наносимого ППС?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Города – это системы, функционирующие столетиями, и оценивать необходимо не только последствия строительства объектов и их комплексов. Обязательно должно проводиться постоянное корректирование методов функционального и технического содержания этих комплексов, развития планировочных структур, анализ влияния объектов окружающей среды на городскую территорию.

Рекультивация городских территорий в большей степени включает в себя улучшение состояния почвы и фитоценоза городской среды. В связи с этим экологические функции городских почв складываются из способности почв обеспечивать произрастание травянистой и древесно-кустарниковой растительности, а также жизнедеятельность почвенных организмов; способности поглощать загрязняющие вещества и предотвращать их проникновение в сопредельные природные среды; способности поддерживать биоразнообразие на территории города.

Эффективность реализации городскими почвами основных экологических функций, перечисленных выше, обуславливается их качеством, под которым следует подразумевать совокупность физических, химических, биологических и прочих свойств почв.

В условиях возросшей антропогенной нагрузки на биосферу почва, являясь элементом природной системы и находясь в динамичном равновесии со всеми другими компонентами, также подвергается деградиационным процессам. Потоки веществ, как результат антропогенной деятельности, включаются в естественные циклы, нарушая нормальное функционирование почвенной биоты, как следствие, и всей почвенной системы. Как компонент рекреационных зон почва выступает элементом экосистемы, постоянно испытывающей нагрузку в виде механического и химического воздействия.

В заключение необходимо отметить, что только использование современных экологически безопасных способов рекультивации городских территорий будет способствовать их сбалансированному восстановлению.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. Алексеенко, С.В. Универсальная технология использования твердых бытовых отходов в качестве нетрадиционного топлива / С.В. Алексеенко, А.С. Басин // Энергосбережение. – М., 2004. – № 4. – С. 42–50.

2. Буракова, Ю.З. Загрязнение окружающей среды твердыми бытовыми отходами и парниковыми газами в горнодобывающем регионе на примере г. Костомукши / Ю.З. Буракова // Безопасность жизнедеятельности. – 2002. – № 6. – С. 27–28.

3. Галицкая, И.В. Экологические проблемы обращения и утилизации бытовых и промышленных отходов / И.В. Галицкая // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – М., 2005. – № 2. – С. 144–147.

4. Гринин, А.С. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка: учеб. пособие / А.С. Гринин, В.Н. Новиков. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 336 с.

5. Никольский, К.С. Твердые, промышленные и бытовые органические (С, N, H, O, P, S) отходы. Их свойства и переработка / К.С. Никольский, А.Н. Сачков. – М.: Изд-во ВНИПТИОУ, 2004. – 116 с.

### *Нормативные документы*

1. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов: Санитарные правила / Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. – М., 2001. – 16 с.

2. СанПиН 2.1.7.1322-03. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. – М., 2003.

3. СП 2.1.7.1038-01. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов / Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. – М., 2001. – 16 с.

4. СТО ТПУ 2.5.01.-2006. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления. – М., 2006.

## ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Волков, С.Н. Землеустроительное проектирование: учебник / С.Н. Волков, В.П. Троицкий, Н.Г. Конокотин [и др.]; под ред. С.Н. Волкова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1998. – 632 с.
2. Кригер, Н.В. Методы экологических исследований. Ч. 2. Практикум / Н.В. Кригер, Н.В. Фомина. – Красноярск, 2007. – 172 с.
3. Кригер, Н.В. Токсикологические методы исследований СибРУМЦ / Н.В. Кригер, Н.В. Фомина. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2013. – 248 с.
4. Кригер, Н.В. Методы экологических исследований (биотестирование и биоиндикация) / Н.В. Кригер, Н.В. Фомина. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2011. – 276 с.
5. Комплексная экологическая практика школьников и студентов: программы, методики, оснащение: учеб.-метод. пособие / под ред. Л.А. Коробейниковой. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб., 2002. – 268 с.
6. Козлов, О.В. Методы исследования экосистем водоемов: учеб. пособие по экологическому практикуму / О.В. Козлов, С.В. Козлова. – Курган, 2000. – 56 с.
7. Левицкая, К.И. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / К.И. Левицкая. – СПб., 2005. – 63 с.
8. Смуров, А.В. Количественные методы оценки основных популяционных показателей: статистический и динамический аспекты / А.В. Смуров, Л.В. Полищук. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 208 с.
9. Чернова, Н.М. Лабораторный практикум по экологии: учеб. пособие / Н.М. Чернова. – М.: Просвещение, 1986. – 96 с.
10. Признаки голодания растений: сб. ст. / под ред. Б. Бэра и Р. Колмана. – М., 1957.
11. Фомина, Н.В. Химия окружающей среды: метод. указания / Н.В. Фомина. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2013. – 96 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (утв. приказом Росрыболовства № 20 от 18.01.2010 г.)

| Вещество  | ПДК, мг/дм <sup>3</sup> | C <sub>i</sub> , мг/дм <sup>3</sup> | ЛПВ      | Класс опасности |
|---|-------------------------|-------------------------------------|----------|-----------------|
| 1   | 2                       | 3                                   | 4        | 5               |
| Алюминий Al   | 0,04                    | 0,08                                | токс     | 4               |
| Аммиак NH <sub>3</sub> · nH <sub>2</sub> O                                | 0,05                    | 0,5                                 | токс     | 4               |
| Аммоний-ион NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                                  | 0,5                     | 2,4                                 | токс     | 4               |
| Барий Ba  | 0,74                    | 0,9                                 | токс     | 4               |
| Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                                      | 0,5                     | 0,8                                 | токс     | 4               |
| Бериллий Be   | 0,0003                  | 0,0004                              | токс     | 2               |
| Бор (ионные формы)  | 0,5                     | 0,8                                 | сан      | 4               |
| Борная кислота H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                             | 2,86 по веществу        | 2,9                                 | сан      | 3               |
| Бромбензол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Br                               | 0,0001                  | 0,0002                              | токс     | 2               |
| Бромид-анион Br <sup>-</sup>  | 1,35                    | 1,5                                 | сан      | 4               |
| Ванадий V   | 0,001                   | 0,005                               | токс     | 3               |
| Винилхлорид C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl                              | Отсутствие (0,000008)   | 0,00001                             | токс     | 1               |
| Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>                                     | 0,5                     | 0,9                                 | токс     | 3               |
| ДДТ C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub>                        | Отсутствие (0,00001)    | 0,00005                             | токс     | 1               |
| Дибутиловый эфир C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O                         | 0,002                   | 0,004                               | токс     | 2               |
| Диметилкетазин (ацетоназин) C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> | 0,01                    | 0,06                                | токс     | 1               |
| Дихлорбензол C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>                | 0,001                   | 0,007                               | токс     | 2               |
| Железо Fe   | 0,1                     | 2,6                                 | токс     | 4               |
| Изопропилциклогексан C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>                       | 0,005                   | 0,004                               | токс     | 2               |
| Иодид-анион I <sup>-</sup>  | 0,4                     | 0,8                                 | токс     | 4               |
| Кадмий Cd   | 0,005                   | 0,02                                | токс     | 2               |
| Калий K   | 50                      | 70                                  | сан-токс | 4э              |
| Кальций Ca  | 180                     | 190                                 | сан-токс | 4э              |
| Кобальт Co  | 0,01                    | 0,04                                | токс     | 3               |
| Литий Li  | 0,08                    | 0,05                                | токс     | 4               |
| Магний Mg   | 40                      | 23                                  | сан-токс | 4               |
| Марганец двухвалентный Mn <sup>2+</sup>                                   | 0,01                    | 0,03                                | сан-токс | 4               |
| Медь Cu   | 0,001                   | 0,01                                | токс     | 3               |
| Молибден Mo   | 0,001                   | 0,006                               | токс     | 2               |
| Мышьяк  | 0,05                    | 0,08                                | токс     | 3               |
| Натрий Na   | 120                     | 180                                 | сан-токс | 4э              |
| Нефтепродукты   | 0,05                    | 0,6                                 | рыб-хоз  | 3               |

Окончание табл.

| 1   | 2   | 3       | 4        | 5  |
|---|---|---------|----------|----|
| Никель Ni   | 0,01  | 0,015   | токс     | 3  |
| Нитрат-анион NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                   | 40  | 45      | токс     | 4э |
| Нитрит-анион NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                   | 0,08  | 0,08    | токс     | 4э |
| Ртуть хлорид (II), сулема HgCl <sub>2</sub>                 | Отсутствие (0,00001)  | 0,00002 | токс     | 1  |
| Ртуть Hg  | Отсутствие (0,00001)  | 0,00001 | токс     | 1  |
| Рубидий Rb  | 0,1   | 0,25    | токс     | 4  |
| Свинец Pb   | 0,006   | 0,007   | токс     | 2  |
| Селен Se  | 0,002   | 0,0015  | токс     | 2  |
| Стронций Sr   | 0,4   | 0,5     | токс     | 3  |
| Сульфит-анион (SO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup>              | 1,9   | 5,4     | токс     | 4  |
| Теллур Te   | 0,003   | 0,006   | токс     | 3  |
| Титан Ti  | 0,06  | 0,09    | токс     | 4  |
| Толуол C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                        | 0,5   | 0,7     | орг      | 3  |
| Трибутиламин C <sub>12</sub> H <sub>27</sub> N              | 0,00005   | 0,00006 | токс     | 1  |
| Трихлорбензол C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> | 0,001   | 0,003   | токс     | 2  |
| Фторид-анион F <sup>-</sup>                                 | 0,05 в дополнение к фоновому содержанию фторидов, но не выше их суммы 0,75 мг/л | 0,06    | токс     | 3  |
| Хлор свободный растворенный Cl <sub>2</sub>                 | Отсутствие (0,00001)  | 0,00005 | токс     | 1  |
| Хлорид-анион Cl <sup>-</sup>                                | 300   | 400     | сан-токс | 4э |
| Хлороформ, трихлорметан CHCl <sub>3</sub>                   | 0,005   | 0,007   | токс     | 1  |
| Хром трехвалентный Cr <sup>3+</sup>                         | 0,07  | 0,12    | сан-токс | 3  |
| Хром шестивалентный Cr <sup>6+</sup>                        | 0,02  | 0,08    | токс     | 3  |
| Цезий Cs  | 1,0   | 2,1     | токс     | 4  |
| Цианид-анион CN <sup>-</sup>                                | 0,05  | 0,07    | токс     | 3  |
| Цинк Zn   | 0,01  | 0,1     | токс     | 3  |

**Варианты индивидуальных заданий для выполнения работы**

| Номер варианта | $T$ , лет | $N_1$ , чел. | $N_2$ , чел. | $H_n^1$ , м |
|----------------|-----------|--------------|--------------|-------------|
| 1              | 20        | 350000       | 500000       | 20          |
| 2              | 20        | 1300000      | 2000000      | 40          |
| 3              | 25        | 280000       | 450000       | 25          |
| 4              | 18        | 630000       | 1000000      | 30          |
| 5              | 22        | 410000       | 800000       | 30          |
| 6              | 25        | 250000       | 520000       | 20          |
| 7              | 20        | 1100000      | 1800000      | 35          |
| 8              | 18        | 800000       | 1100000      | 30          |
| 9              | 19        | 425000       | 630000       | 30          |
| 10             | 22        | 370000       | 530000       | 30          |
| 11             | 23        | 1600000      | 2200000      | 40          |
| 12             | 25        | 1025000      | 1500000      | 40          |
| 13             | 20        | 220000       | 390000       | 20          |
| 14             | 18        | 420000       | 610000       | 25          |
| 15             | 18        | 550000       | 950000       | 25          |
| 16             | 22        | 1310000      | 2000000      | 40          |
| 17             | 22        | 355000       | 940000       | 20          |
| 18             | 25        | 820000       | 1300000      | 30          |
| 19             | 20        | 225000       | 475000       | 20          |
| 20             | 18        | 510000       | 975000       | 25          |
| 21             | 20        | 1400000      | 1900000      | 40          |
| 22             | 23        | 345000       | 420000       | 20          |
| 23             | 22        | 660000       | 140000       | 25          |
| 24             | 25        | 1250000      | 2300000      | 40          |
| 25             | 25        | 440000       | 710000       | 25          |

# РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

*Методические указания  
для проведения лабораторных работ*

Фомина Наталья Валентиновна

*Электронное издание*

*Редактор*  
О.Ю. Потапова

Подписано в свет 18.01.2017. Регистрационный номер 161  
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117  
e-mail: rio@kgau.ru