

АКАДЕМИИ НАУК СССР  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОЕКТИМ  
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
И ОХРАНЫ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА  
СОВЕТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОММЕТИТ  
ПО МЕЖДУНАРОДНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ

Л. Е. РОДИН, Н. П. РЕМЕЗОВ, Н. И. БАЗИЛЕВИЧ

МЕТОДИЧЕСКИЕ  
УКАЗАНИЯ  
К ИЗУЧЕНИЮ  
ДИНАМИКИ  
И БИОЛОГИЧЕСКОГО  
КРУГОВОРОТА  
В ФИТОЦЕНОЗАХ

9



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДИЛЕНИЕ  
ЛЕНИНГРАД · 1980

Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Родин Л. Е., Ремезов Н. И. и Базилевич И. И.  
1967. Изд. «Наука», Ленинград. отд., л. 1—145.

Книга состоит из 5 разделов.

1. Введение. Динамика органического вещества наземных растительных сообществ и биологический круговорот зольных элементов и азота — один из важнейших вопросов проблемы взаимоотношений между растительностью и почвой.

Обосновываются основные понятия, термины и единицы измерения.

2. Методика изучения динамики органического вещества и биологического круговорота азота и зольных элементов. Излагаются методические приемы учета динамики органической массы в лесах: выбор пробных площадей, учет фитомассы древостоя (выбор модельных деревьев, учет массы листвьев — хвои, ветвей и других органов деревьев), фитомассы подлеска и подроста, корней), учет фитомассы травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова, учет прироста (учет кустарничкового и мохово-лишайникового покрова, учет прироста (учет кустарничкового и мохово-лишайникового покрова, учет прироста деревостоя, корней, подлесочных пород и подроста, кустарничкового яруса, трав, грибов, мхов, лишайников), сбор и учет опада (учет лиственного опада, учет и вычисление опада стволов, ветвей и корней деревостоя, опада кустарничкового и травяно-мохового покрова, учет лесной подстилки).

Прилагаются формы рабочих записей.

Далее излагаются методические приемы учета динамики органической массы в степях, в сообществах пустынь, в тундровых сообществах и в посевах сельскохозяйственных культур по такому же принципу, как и для лесов, с изменениями, связанными с особенностями этих типов растительных сообществ.

3. Принципы построения баланса биологического круговорота.

Излагаются способы построения баланса органического вещества и баланса биологического круговорота зольных элементов и азота с рассмотрением химизма растений, внутригодичных циклов биологического круговорота, процессов освобождения химических элементов из мертвых растительных остатков.

4. Методика зольного анализа растений.

Подробно изложены общепринятые и некоторые новые методы количественного определения содержания воды, золы, азота и главнейших микроэлементов (Si, P, Mn, Al, Fe, Ca, Mg, S, K, Na, Cl).

5. Приложение. Приведены образцы рабочих записей, таблиц, графиков, диаграмм.

Илл. — 14, табл. — 29, блбл. — 250 назв.

## ВВЕДЕНИЕ<sup>1</sup>

Динамика органического вещества наземных растительных сообществ и биологический круговорот зольных элементов и азота — один из важнейших вопросов проблемы взаимоотношений между растительностью и почвой, главнейших составляющих, наиболее ясно очерчивающих и границы, и самую сущность биогеоценоза («как правило, границы отдельного биогеоценоза определяются фитоценозом»; «почва является ярким отражением основных свойств биогеоценозов») (Сукачев, 1947, стр. 289).

Под биологическим круговоротом понимается поступление элементов из атмосферы и почвы в живые организмы, биохимический синтез и закрепление химических элементов в органическом веществе растений и возвращение их в почву и атмосферу с ежегодным опадом части органического вещества или с полностью отмершими организмами, входящими в состав биогеоценоза. Растения ассимилируют углерод и азот из атмосферы, а зольные элементы и также азот — из корнеобитаемого слоя почв и грунтов. В ходе биологического круговорота осуществляется обогащение почв пергерием, азотом, элементами минерального питания, что в сочетании с другими изменениями среды создает более благоприятные условия для жизни растений. Материнские горные породы на 92—94 % по объему состоят из атома кислорода, и на долю остальных элементов приходится всего 6—8 %. Таким образом, необходимые для питания растений элементы находятся в горных породах в состоянии большого рассеяния среди атомов кислорода. Азот же, как правило, в материнских горных породах не содержится; следовательно, материнские горные породы в неизмененном виде представляют среду, мало благоприятную для жизни, по крайней мере высших растений. И лишь в процессе биологического круговорота постепенно осуществляется почвообразование, обогащение верхней части обитаемого слоя элементами питания растений. Однако значение биологического круговорота гораздо более велико, ибо «именно здесь, в почвах, наиболее сосредоточена геологическая работа живого вещества; именно в почвах готовится тот материал континентальных и морских отложений, из которых в дальнейшем образуются новые породы» (Полынов, 1947, стр. 196). Биологический круговорот — это вследний процесс на нашей планете. «По существу живое вещество охватывает своим влиянием всю химию земной коры и направляет в ней, почти для всех элементов, их геохимическую историю» (Бернадский, 1934, стр. 173).

Биологическое, биохимическое и геохимическое значение процессов, осуществляемых в биологическом круговороте элементов, нашло отражение в учении о зонах природы, созданном В. В. Докучаевым, и было рас-

<sup>1</sup> Программа этой работы была составлена авторами в 1961 г., и была начата разработка отдельных разделов. Незадолго до кончины (1961 г.) Н. И. Ремезовым был написан первый вариант методики изучения биологического круговорота в лесных сообществах и фрагменты к вводной части. (Прим. Л. Р. и Н. В.).

крыто и развито В. И. Вернадским, В. Р. Вильямсом, Б. Б. Попыновым, Д. Н. Прянишниковым, В. Н. Сукачевым.

Вместе с тем изучение биологического круговорота имеет непосредственное практическое значение для лесоводства, земледелия, агрохимии. Только на основе точного знания количества вовлеченных растениями в жизненный цикл элементов, проследив их судьбу до последующего возврата в почву, можно научно обосновывать практические рекомендации в различных отраслях сельского и лесного хозяйства.

Биологический круговорот химических элементов — одно из важнейших звеньев большого, геологического круговорота элементов. Без точного изучения биологического круговорота во всех связях невозможно осуществление рационального использования природных богатств, которыми располагает наша страна в виде лесных массивов, пастбищных и сенокосных угодий, возделываемых земель, рек, озер и морей и всех других участков земной поверхности, производящих живое вещество в форме тех или иных растительных или животных организмов. Несмотря на давнишнее признание важности изучения биологического круговорота выдающимися учеными, до сих пор, однако, это направление исследований еще не разработано в должной мере.<sup>2</sup> Поэтому излагаемые далее положения и обобщения зачастую будут страдать неполнотой, несовершенством, а передко формулируются лишь как задачи для поиска, разведки или постановки вопросов, требующих первичной разработки.<sup>3</sup>

Полный цикл биологического круговорота элементов слагается из следующих составляющих.

1) Поглощение ассимилирующей поверхностью растений (листьями, молодыми стеблевыми побегами, корой и др.) из атмосферы углерода и некоторыми растениями азота, а корневыми системами — из почвы также азота, зольных элементов и воды<sup>4</sup> (последняя, как известно, поглоща-

<sup>2</sup> Лишь в начале 60-х годов Международный союз биологических наук (International Union of Biological Sciences — IUBS) предпринял широкую программу исследований биологической продуктивности биогеоценозов суши и водоемов, для руководства которыми создана особая организация — Международная биологическая программа (МБП) (International Biological Programme), в известной мере сходная с осуществленным уже ранее Международным геофизическим годом (International Geophysical Year). Конечная задача этих исследований, в которые вовлекаются учные множества стран, — разработка путей повышения биологической продуктивности биогеоценозов Земли, полезных для человечества. Некоторые аспекты намечаемых исследований по МБП изложены в статьях председателя проф. Веддингтона (Waddington, 1962) и генерального секретаря IUBS проф. Стеббингса (Stebbing, 1962).

<sup>3</sup> Следует особо отметить исключительно большую роль Н. П. Ремезова, обединившего большой коллектив исследователей МГУ, занимавшихся разработкой проблем биологического круговорота в лесных сообществах. Н. П. Ремезов в ряде своих публикаций определил главные задачи исследований этой проблемы и сформулировал основные поятия (Ремезов, 1956а, 1956б, 1959, и др.). (Прим. Л. Р. и Н. Е.).

<sup>4</sup> Содержание воды в биогеоценозах и динамика его в течение года, а также более продолжительных циклов еще почти совсем не изучены. Весьма тщательно изучен водный баланс отдельных видов, но не биогеоценоза в целом. Некоторые данные по этому вопросу можно найти у А. Л. Паршевникова (1957, 1962), В. В. Смирнова (1962) и у Овингтона (Ovington, 1962).

Из материалов А. Л. Паршевникова и В. В. Смирнова следует, что содержание воды в надземной и подземной части ельника травяного (более чем столетнего возраста) зоны средней тайги (Вологодская область) составляло во второй половине вегетации 1588 л/га (при сухом весе ельника 1909 ц/га). При этом на зеленые части и ветви приходилось по 80% воды от общего ее запаса, на стволы 66% и на корни 18%. По данным Овингтона, в сравнительно молодых (до 50 лет) искусственных насаждениях Англии лесные биогеоценозы, слагаемые хвойными породами, содержат меньшие абсолютные количества воды, нежели сложенные широколиственными породами. В то же время в растительном веществе первых заключено 24—31% всей воды биогеоценоза, тогда как у вторых — биогеоценозов широколиственных пород — только 10—11%, а остальные 89—90% воды находятся в почве. По-разному распределяется вода в структурных частях фитомассы: у хвойных 8—13% содержится в кроне и 82—

ется также и надземными органами растений), закрепление их в телах растительных организмов; поступление в почву отмерших растений или их частей (как надземных, так и подземных), разложение их и освобождение заключенных в них элементов. Это самая существенная часть биологического круговорота, которая являлась объектом исследования ряда авторов.

2) Потребление химических элементов животными при отчуждении<sup>5</sup> частей растений; превращение их в телах животных в новые органические соединения и закрепление в животных организмах; последующее поступление их в почву с трупами животных или их экскрементами и другими выделениями или вовлечение их в жизненный цикл новыми группами организмов (например, хищниками, детритофагами и др.) на последующих трофических уровнях; освобождение элементов при разложении трупов и экскрементов. Исследование этой части биологического круговорота в биогеоценозах, насколько нам известно, не производилось.

3) Газообмен между ассимилирующей поверхностью растений и атмосферным воздухом, так же как между корневой поверхностью и почвенным воздухом. Процессы эти применительно к отдельным растениям глубоко изучаются физиологами растений, однако в биогеоценозах и фитоценозах в целом в их количественном выражении пока не исследованы.

4) Приживленные выделения надземными органами растений, и в особенности корневыми системами, некоторых элементов непосредственно в почву и атмосферу. Для изучения этой составляющей пока не разработана необходимая методика, и по этому вопросу пока нет достоверных данных (Ахромейко, 1936; Тюлин, 1954; Ремезов, 1956б, 1959; Раухтенко, 1958, и др.).

Для познания в полной мере круговорота веществ, совершающегося в рамках биогеоценоза, необходимо охватить исследованиями все группы организмов: растения, животных, микрофлору, микрофауну, бактерий. Такого рода исследования — это еще лишь программиная задача, пока далекая от осуществления (Лавренко, 1955). До сих пор не производились такие комплексные исследования биологического круговорота элементов, которые охватывали бы если не все виды, то хотя бы главнейшие группы организмов, населяющих биогеоценозы суши. Пока что имеются материалы, касающиеся динамики органического вещества и биологического круговорота азота и зольных элементов, осуществляемых растительным покровом, слагаемым цветковыми и некоторыми споровыми растениями, в основных формациях отдельных природных зон умеренного пояса (главным образом в пределах Советского Союза и Великобритании), и отрывочные данные для формаций холодного, субтропического и тропического поясов (Родин и Базилевич, 1965). Эти материалы касаются лишь одной из ветвей биологического круговорота, а именно: поглощения растениями из почвы азота и зольных элементов, закрепления их в растениях, поступления в почву отмерших растений или их частей (как надземных, так и подземных), разложения их и освобождения заключенных в них элементов.

Биологический круговорот химических элементов следует рассматривать как сложный, полипроточный процесс, состоящий из циклов различной продолжительности и глубины воздействия на среду. Можно раз-

90% — в стволах, тогда как у бука и дуба 18—20% — в кроне и 74—75% — в стволах. Различие биологических особенностей эпифитиков становится ясным даже из этих отрывочных данных.

<sup>5</sup> Под термином «отчуждение» следует понимать не только прямое потребление тех или иных органов растений, но и извлечение питательных веществ из живых органов растений, например нектара и пыльцы цветков, извлекаемых пчелами, осами и другими насекомыми, птицами, так называемого плача, потребляемого птицами, и т. п.

личать сезонные, годовые, многолетние и вековые циклы биологического круговорота.

Центральное место в этой системе занимают годовые циклы, определяемые размером потребления элементов, которые фитоценоз (растительное сообщество) в течение года извлекает из почвы, удерживает в составе сообщества и возвращает обратно в почву с опадом и отмирающими осадками.

Годовые циклы биологического круговорота изучались многими лицами, и к настоящему времени имеется большое число опубликованных материалов и ряд обобщений.<sup>6</sup>

Под сезонными циклами следует понимать круговорот, осуществляющийся на протяжении отдельных периодов (сезонов) года, например биологический круговорот элементов, вовлекаемых и возвращаемых в течение одной из фенологических фаз развития сообществ. Годовой цикл, таким образом, объединяет ряд сезонных циклов круговорота.

Многолетние циклы охватывают круговорот, осуществляющийся по возрастным периодам развития сообщества в течение жизнедеятельности его за весь цикл жизни одного поколения основных эдификаторов. В применении к лесным сообществам (или сообществам, где эдификаторами являются древесные породы или кустарники, возраст которых легко определим) — это доступный изучению вопрос, и к настоящему времени уже имеется некоторое число публикаций, относящихся к лесам. Что же касается сообществ травянистых (луга, степи, травянистые болота), полукустарничковых (некоторые тундры, полупустыни, пустыни), моховых и лишайниковых (арктические пустыни, тундры, некоторые пустыни аридной зоны, моховые болота), то вопрос об определении возраста их эдификаторных популяций представляет едва начатую разработку тему,<sup>7</sup> и публикации, посвященные многолетним циклам биологического круговорота, совершенно отсутствуют.

Наконец, вековые циклы биологического круговорота будут обнимать еще более продолжительные периоды, определяемые временем, в течение которого осуществляется смена растительных формаций<sup>8</sup>. Пока что еще не накоплены материалы, позволяющие переходить к такого рода обобщениям.

Таким образом, как отмечено выше, преобладающая масса исследований была направлена на изучение годовых циклов биологического круговорота элементов в отдельных растительных формациях различных природных зон. При наличии сообществ разного возраста (например, лесов) сравнение их позволило переходить к характеристике многолетних цик-

<sup>6</sup> Библиография работ приведена в конце статьи. Из обобщающих работ следует назвать: Ebertmayr, 1876; Ковда, 1944, 1956; Aaltonen, 1948; Ремезов, Смирнова, Быкова, 1949; Ремезов, 1953; Базилевич и Родин, 1964, 1964а, 1964б, 1964в; Базилевич, 1955, 1958, 1962, 1965; Мина, 1955; Родин и Базилевич, 1955, 1964, 1965; Scott, 1955; Rennie, 1956; Ehwald, 1957; Родин, 1958, 1960, 1961; Ремезов, Быкова, Смирнова, 1959; Першина и Яковleva, 1960; Duvigneaud, 1962; Ovington, 1962; Domergues, 1963; Молчанов, 1964. В этих работах приведены многочисленные литературные источники.

<sup>7</sup> Можно назвать работы Т. А. Работникова (1946, 1947, 1950), К. В. Станюковича (1948, 1949, 1951), С. Г. Нариняна (1948), А. П. Степченко (1952, 1960), З. И. Персиевой (1958, 1959а), Н. В. Трузевич (1959, 1960, 1962), И. Д. Кожевниковой (1958, 1961) и немногие другие, которые посвящены возрастному составу популяций некоторых сообществ или главнейших их эдификаторов.

<sup>8</sup> В данном случае оставляются в стороне быстрые смены (Лавренко, 1959), вызываемые резким воздействием факторов среды, например антропогенные смены. Совершенно естественно, что биологический круговорот, объемлющий отдельные этапы антропогенных сукцессий (смен), будет охватывать сравнительно краткие периоды времени в отличие от более медленных смен формаций, совершающихся в естественных природных условиях.

лов биологического круговорота. Здесь могут быть названы работы Н. П. Ремезова и его соратников начиная с 1949 г., В. Н. Миши (1955), А. Л. Паршевникова (1962), А. А. Молчанова (1964).

В последующем внимание будет сосредоточено на методике изучения годового цикла биологического круговорота, осуществляемого наземными растительными сообществами. Поскольку по массе они составляют 98—99% от всего органического вещества биогеоценозов суши, круговорот химических элементов в биогеоценозе и будет определяться растениями.

Исходным моментом в таком исследовании является изучение динамики органического вещества того или иного сообщества.

Органическое вещество, сосредоточенное в растениях, не остается неизменным в течение года. Оно заключено в многолетних органах растений (стволы, ветви, корневища, луковицы, многолетние корни, многолетние хвоя и листья) и однолетних (листья, хвоя,<sup>9</sup> цветки, плоды, семена, однолетние корни). Количество вещества, заключенное в первых, ежегодно нарастает на какую-то величину, превышающую иногда по массе вещество отмирающих в текущем сезоне многолетних органов (отдельные ветви, участки многолетних корней). Органическое вещество, заключенное в однолетних органах, ежегодно отмирает, образуя основную массу опада (однако последний слагается также и из отмерших частей многолетних органов и особей, отмерших в процессе естественного изреживания или достигших предельного возраста).

Под годичной динамикой растительного органического вещества понимается ежегодное нарастание его в процессе жизнедеятельности сообщества и последующее отмирание в конце вегетационного периода (или жизненного цикла, если последний приурочен только к определенному отрезку вегетационного периода).

Для характеристики динамики органического вещества необходимо получить следующие данные.

Биологический запас (или, для краткости, фитомасса)<sup>10</sup> — общее количество живого органического вещества растений, накопленное к данному моменту надземной и подземной сфере сообщества (с учетом всех слагающих фитоценоз синузий), с разделением на многолетние надземные части (стволы, ветви, многолетние одревесневшие побеги полукустарничков, долголетия хвоя и листья), однолетние надземные части (однолетние листья или хвоя, цветки, плоды, однолетние ассимилирующие побеги и т. п.) и подземные части (корни, корневища, клубни, луковицы).<sup>11</sup> Это подразделение дает представление о так называемой структуре фитомассы; процентные соотношения этих структурных частей весьма показательны для отдельных растительных формаций разных природных зон.

Мертвое растительное органическое вещество — сумма органического вещества, заключенного в сухостойных особях (погибшие, но еще не упавшие деревья, кустарники и т. д.), в отмерших органах (сухие, но не отпавшие ветви на деревьях и кустах, ветошь у травянистых растений), а также накапливающегося в лесной подстилке, в торфяном горизонте почв, в степной подстилке и т. п.

<sup>9</sup> Хвоя большинства хвойных (сосны, ели, кедра и др.) живет несколько лет, так же как и листья вечнозеленых древесных пород и некоторых кустарников, кустарничков и полукустарничков (рододендрон, бруслица), и в таких случаях они должны быть отнесены к многолетним частям растений, а к однолетней хвое следует относить хвоя первого года жизни.

<sup>10</sup> Е. М. Лавренко (1955) называет это «продукцией живого растительного вещества». Овингтон (Ovington, 1962) использует термин «plant biomass».

<sup>11</sup> При значительном участии в подземной массе сообщества (более 100% по весу) клубни, луковицы и корневища учитываются отдельно от корней.

Общий запас растительного органического вещества — сумма фитомассы и мертвого органического вещества.

Годичный прирост (или чистая первичная продукция) — количество растительного органического вещества, нарастающее за год как во всей надземной, так и подземной сфере сообщества (по таким же структурным частям, как для фитомассы),<sup>12</sup> за вычетом части, потребленной гетеротрофными организмами (грызунами, птицами, насекомыми, грибами и т. д.), а также затраченной на дыхание, процессы роста и выделение корнями и надземными органами растений.

Опад — количество органического вещества, заключенное во всех ежегодно отмирающих частях растений надземной и подземной сфер сообщества, а также в особых или отдельных частях их, отмерших в процессе старения или естественного изреживания (по таким же структурным частям).

В дальнейшем будет использоваться еще термин «листовой опад», под которым понимается органическое вещество, заключенное в опадающих частях деревьев и кустарников, т. е. листьях, цветках, околоцветных чешуйках, плодах, семенах, мелких ветвях и т. п.; сюда не входит древесина отмерших стволов и более крупных ветвей (некоторыми авторами именуемая «отпад»), а также опад растений напочвенного покрова и отмирающие корни. Естественно, что листовой опад — это лишь некоторая, хотя и значительная, часть общего опада.<sup>13</sup>

Истинный прирост — количество органического вещества, остающееся в сообществе в результате годичного прироста, за вычетом опада (по структурным частям). Это имеет место в сообществах, не достигших динамического равновесия со средой, после чего количества нарастающего и отмирающего органического вещества уравновешиваются. Наоборот, в сообществах, достигших критического возраста, например в лесах, может происходить снижение величины прироста многолетних органов сравнительно с количеством отмирающих, и тогда величина истинного прироста получит отрицательный знак.

## МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА АЗОТА И ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Создание и отмирание органической массы в различных растительных формациях представляет процесс, протекающий в различные сезоны вегетационного периода с неодинаковой интенсивностью. Кроме того, на интенсивность этих процессов оказывают влияние погодные условия различных лет. Сказанное определяет необходимость динамического подхода к определению массы органического вещества и его качественного состава, создаваемого растительными сообществами, а затем поступающего на почву и в почву по мере отмирания частей растений, как отдельных членов исследуемого растительного сообщества, так и их совокупности.

Ход процессов синтеза и отмирания органического вещества зависит от особенностей строения растительных сообществ. Поэтому требуется применение различных вариантов методик для изучения этого процесса. На последующих страницах будут описаны методы учета органической

<sup>12</sup> Это совпадает с применяемым на Западе термином «net primary production», например у Бл исса (Bliss, 1952), Овингтона (Ovington, 1962).

<sup>13</sup> В зарубежной литературе нет особого термина, равнозначного опаду в нашем понимании (который можно было бы назвать «полный опад»). В большинстве случаев зарубежные исследователи ограничиваются установлением количества листового опада (little fall — англ., littlete — франц.); некоторые же учитывают еще опад стволов и ветвей — timber fall (см.: Nye, 1961), что совпадает с понятием «отпад».

массы раздельно для главнейших типов растительности нашей страны. Наиболее изучены эти вопросы для лесных сообществ.

В связи с этим, а также учитывая, что лесные сообщества являются более сложными в отношении синусиальной структуры (в них представлены древесные породы, кустарники, полукустарнички, многолетние и однолетние травы, мхи, лишайники и грибы), рассмотрение методических указаний целесообразно начинать именно с них.

### УЧЕТ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ В ЛЕСАХ<sup>1</sup>

#### Выбор пробных площадей

В соответствии с изложенными принципами для учета фитомассы и динамики органического вещества в лесных биоценозах следует в каждом изучаемом типе леса закладывать серию постоянных пробных площадей, охватывающих по возможности все классы возраста. В каждом классе возраста<sup>2</sup> желательно иметь не менее двух пробных площадей. Одна предназначается для проведения статистических учетов, другая — для дальнейших динамических наблюдений.

Особенно важно наиболее полно охарактеризовать первые три класса возраста. При разновозрастных лесах можно ограничиться двумя пробными площадями.

Для получения точных данных первостепенное значение имеет правильный подбор пробных площадей для последующей работы. Пробные площади должны быть заложены в условиях одного типа леса, в случае одновозрастных лесов — одного или в крайнем случае двух смежных классов бонитета, одинаковой полноты, в сходных условиях рельефа и экспозиции, на одних и тех же материнских и подстилающих породах, на почвах одного генетического вида. Насаждения должны быть одновозрастными или хотя бы условно одновозрастными, где возраст древостоя колеблется в пределах одного класса возраста. Однородны должны быть и связанные с этим особенности в строении насаждения (развитие подлеска, травяно-мохового покрова и т. д.).<sup>3</sup> Полнота насаждения желательна не ниже 0.8.

Размеры пробных площадей рекомендуются следующие: для древостоев I класса возраста — не менее 0.05 га, II — 0.10 га, III — 0.20 га, IV и старше — 0.25 га.<sup>4</sup> Количество деревьев на каждой пробной пло-

<sup>1</sup> Разработка методики круговорота азота и зольных элементов в лесных биоценозах была предметом постоянного внимания Н. П. Ремезова и его сотрудниками на кафедре почвоведения МГУ, и различные ее варианты были опубликованы в ряде работ (Быкова, 1951; Ремезов, Быкова, Смирнова, 1959; Ремезов, 1960а). Для настоящей книги этот раздел был написан в первом варианте Н. П. Ремезовым. В дальнейшем он был дополнен нами, обсужден с Л. Н. Быковой, С. В. Золином, В. Г. Карповым, В. Н. Миной, Г. Л. Ремезовой, Е. М. Самойловой, В. В. Смирновым, К. М. Смирновой. Кроме того, были учтены некоторые методические приемы из «Программы-миникума», предложенной группой сотрудников Института леса и древесины СО АН СССР под руководством акад. А. Б. Жукова для Комитета по изучению продуктивности наземных сообществ Советского национального комитета по международной биологической программе. Все это способствовало уточнению ряда положений.

Авторы выражают признательность всем поименованным коллегам. (Приж. Н. В. и Л. Р.).

<sup>2</sup> Классы возраста для хвойных лесов принимаются через каждые 20 лет, а для лиственных — через 10 лет.

<sup>3</sup> При выборе мест закладки пробных площадей большую помощь оказывают лесоустройственые отчеты, карты и планы лесонасаждений. По этим материалам можно установить в историю намечаемых для закладки пробных площадей участков. Пробная площадь должна быть однородной по степени предшествующего воздействия человека (рубки, ухода, повреждения пожаром и др.) или катастрофического воздействия вредителей (например, сибирского шелкопряда; см.: Кулаков, 1965) и т. д.

<sup>4</sup> Некоторые японские исследователи применяли в тропических лесах Таиланда пробную площадь размером  $1/16$  га — 1600 м<sup>2</sup> (Ogawa a. oth., 1965).

щади должно быть не менее 100, а для достижения точности определения диаметров стволов  $\pm 2\%$  необходимо 150—200 стволов. Важно проследить за равномерностью распределения деревьев на площади, не допуская вклинивания «окон». Исходя из средних диаметров размер пробной площади, обеспечивающий точность  $\pm 2\%$ , должен быть: в древостое со средним диаметром до 10 см — 0.1 га, при диаметре в пределах 11—20 см — 0.25 га и при более крупном среднем диаметре — не менее 0.4 га. Недопустимо включение в пробную площадь старых переросших деревьев — «маяков». Границы пробных площадей отбивают по буссоли. Форма пробной площади должна быть квадратной или прямоугольной с предельным соотношением сторон 2 : 5. Длинную сторону в условиях расчлененного рельефа следует располагать вдоль горизонталей. Пробные площади ограждают, а если имеется опасность их повреждения животными, то и огораживают. Производится геоботаническое описание пробных площадей в соответствии с методикой геоботанических исследований в лесу (Сукачев и Зонн, 1961). Для установления однородности почвенного покрова в разных местах пробной площади с учетом микрорельефа и растительного покрова закладывают почвенные разрезы, производят их описание, берут образцы почв для камерального просмотра и последующего анализа.

Рекомендуется составлять на пробных площадях картограммы распределения древесных пород, подлеска и травяно-мохового покрова.

Закладываемые пробные площади служат для выбора модельных деревьев, а в дальнейшем — для учета опада, отмирающих в процессе естественного изреживания деревьев и других изменений во времени в составе растительности. Пробная площадь должна быть окружена защитной полосой не менее 50 м при условии соответствия древостоя с изучаемой площадью и при удаленности от опушки не менее 200 м.

#### Учет фитомассы древостоя

**Выбор модельных деревьев.** Выбор модельных деревьев для учета фитомассы надо производить, строго следуя требованиям лесотаксационных работ (Орлов, 1929; Тюрин, 1945; Сергеев, 1953).

На каждой пробной площади производят перечет и нумерацию в натуре всех растущих деревьев (в сложных насаждениях раздельно по породам); сухостой учитывается отдельно. При помощи мерной вилки измеряют диаметр с точностью до 1 см на высоте груди (1 м 30 см от уровня почвы) в двух направлениях. В насаждениях первых двух классов возраста измерения проводятся начиная со ступени толщины 2 см с интервалами через 1 см, II класса возраста и выше — начиная со ступени толщины 6 см с интервалом 2 см, а при менее детальных исследованиях 4 см. Учет деревьев господствующего яруса<sup>5</sup> производится в отдельной графе. Затем, пользуясь соответствующими справочниками,<sup>6</sup> вычисляют общую площадь сечения и средний диаметр отдельно для деревьев господствующего и подчиненных ярусов каждой породы. Данные о суммарной площади сечения используют для вычисления полноты насаждения.<sup>7</sup>

На этом основании дается формула состава древостоя по числу деревьев и по площади сечения. Деревья, имеющие в формуле  $< 5\%$ , в дальнейшем в расчет не принимаются.

<sup>5</sup> К господствующему ярусу относят деревья I, II, III классов Крафта, к подчиненному — IV и V классов.

<sup>6</sup> Тюрин А. В., И. М. Науменко, П. В. Воронцов (1945), Третьяков Н. В., П. В. Горский, Г. Г. Самойлович (1952).

<sup>7</sup> Найденную сумму площадей сечения делят на сумму площадей сечения в данном возрасте и боните при полноте 1.0, взятую из опытных таблиц по справочнику.

Одновременно производят замеры высот деревьев с помощью высотомера (точность замера 0.1 м), для каждой ступени толщины деревьев (через 4 см) по три замера, и строят график зависимости высоты деревьев от их диаметров. Далее, по вычисленному среднему диаметру дерева находят по кривой высоту средних модельных деревьев для господствующей части древостоя и для подчиненного яруса (для каждой породы отдельно в обоих случаях). Кроме того, замеряется высота прикрепления кроны (считая от первой живой ветви). Для вычисления средней величины достаточно измерить высоту прикрепления кроны у 30 деревьев каждой породы и каждой ступени толщины.

Выбранные по этим показателям в натуре — диаметру, высоте и высоте прикрепления кроны — модельные деревья служат основой для учета фитомассы древостоя на пробной площади. Берется по 2—3 модельных дерева для господствующего и подчиненного ярусов каждой породы. В целях получения более точных данных можно рассчитать размеры и брать по 1 модельному дереву каждой породы по ступеням толщины (начиная от 6 см) или по классам толщины, объединяющим 3 ступени толщины.<sup>8</sup> Чтобы не нарушать пробной площади, модельные деревья следует брать по соседству с пробной площадью, но в аналогичных условиях. Не рекомендуется брать модельные деревья с края выделов. Согласно данным специальных исследований (Тюрин, 1945), погрешности при определении запасов фитомассы древостоя методом средней модели по ступеням толщины составляют  $\pm 3\%$ .

Сроки взятия модельных деревьев определяются периодом завершения формирования прироста текущего года. Обычно это середина августа и даже начало сентября, однако в различных зонах и районах эти сроки могут изменяться. Не следует брать пробы на анализ во время дождя, а также в первые 3—4 дня после дождя.

Модельные деревья спиливают у самого основания, измеряют их длину, определяют по годичным кольцам возраст. Со ствола обрубают все ветви, разделяя на живые и отмершие и складывают их на брезент. Крону при этом желательно разделить на три равные части и ветви каждой трети сложить отдельно и возможно быстрее взвесить вместе с листьями (хвоей). Из каждой трети кроны отбирается по несколько (3—5) средних по размерам веток для последующего отделения листьев или хвои и других узлов.

Из ствола выпиливают две серии кружков на расстояния 1 м, 1.3 м, 3 м, 5 м и т. д. через каждые два метра вплоть до вершины. В дальнейшем одна серия кружков служит для анализа хода роста, вторая — для определения химического состава и влажности.<sup>9</sup> Толщину кружков изменяют в зависимости от толщины ствола дерева с таким расчетом, чтобы самые верхние отрезки ствола весили не менее 50 г. Обе серии кружков взвешиваются.

<sup>8</sup> В некоторых случаях, например для подбора естественного ряда, рекомендуется, кроме модельных деревьев, взятых для классов по толщине, срубить еще самое толстое и самое тонкое дерево.

<sup>9</sup> Данные о содержании воды в отдельных частях деревьев, а также кустарников, травяно-моховом покрове и насаждениях в целом не только имеют значение для вычисления массы сухого органического вещества, создаваемого лесом, но и представляют самостоятельный интерес. Имеющиеся данные показывают, что содержание воды в растениях леса испытывает значительные колебания в зависимости от сезона года, погодных условий, содержания влаги в почве, влажности и температуры воздуха и т. п. (см. работы Смирнова, 1961а, 1964), а также и от возраста древостоя, причем это особенно заметно в стволовой древесине, влажность которой снижается с возрастом (например, у сосны; см.: Молчанов, 1961). Так же интересны данные В. В. Смирнова (1961в), показывающие уменьшение влажности хвои с увеличением ее возраста. Поэтому данные о содержании воды надо приводить в составляемых ведомостях. Они могут быть использованы для расчетов элементарного состава, энергетических процессов и т. д.

Анализ хода роста следует проводить на невысушенных кружках во избежание их деформации. Распыленный на указанные выше отрезки ствол взвешивают и к полученному весу прибавляют вес кружков. Таким образом получают сырой вес ствола. В зависимости от целей исследования можно отделить кору и определить отдельно вес коры и вес ствола.

Для определения влажности древесины и химического анализа ствола составляется средняя проба весом около 0.5—1 кг. Для этого из каждого кружка второй серии берется весовая часть в форме сектора. Вес сектора нужно взять исходя из отношений квадратов радиусов спилленных кружков, принимая вес самого маленького кружка (или выщелченного из него сектора) за 1, по формуле

$$x = P_1 \frac{r_2^2}{r_1^2},$$

где  $P_1$  — вес самого маленького кружка;  $r_1$  — его радиус;  $x$  — искомый вес сектора 2-го кружка;  $r_2$  — его радиус.

Для определения влажности древесины рекомендуется высушивать полностью среднюю пробу, далее используя ее для химического анализа.

Если деревья имеют очень большой диаметр (свыше 50 см) и взвешивание отрезков ствола затруднительно, на основании измерений высот и радиусов вычисляют их объемы. По справочникам (Ванин, 1949, и др.) находят плотность древесины с учетом зональных особенностей (или определяют ее в лаборатории из каждого отрезка ствола) и вычисляют вес всего дерева.

Учет массы листьев (хвои), ветвей и других органов деревьев. Отобранные уже ранее средние ветви из каждой трети кроны немедленно взвешивают. После этого с них обрывают листья (хвою), взвешивают снова и по разности веса облиственных (охвощенных) и голых ветвей определяют вес листьев (хвои). Этот способ предпочтительнее, чем непосредственное взвешивание листьев (хвои), которые за время работы по обрыванию теряют много влаги.

Хвою текущего года у хвойных пород необходимо учитывать отдельно. С этой целью у взрослых деревьев через каждые 2 м (для молодых — через 1 м) берется часть (3—5) средних по размерам и весу ветвей, с которых срываеться хвоя текущего года. Зная общее количество ветвей, путем вычисления получают вес хвои текущего года.<sup>10</sup> Путем соответствующих расчетов получают вес хвои прошлых лет и общий вес хвои. Надо помнить, однако, что хвоя держится на ветвях много лет (например, у ели до 14 лет). С возрастом хвоя изменяется ее влажность (Данилов, 1948), содержание химических веществ (Паршевников, 1959, и др.), различна и энергия фотосинтеза (Bourdeau, 1961). Поэтому представляет интерес учет распределения массы хвои по возрастам. В. В. Смирнов (1961а) применял следующий способ. Срубают среднюю по показателям охвояния ветвь из средней части кроны модельного дерева. Центральный побег охвонной части ветви разрезают на участки годичного прироста. Затем боковые ветви каждого такого участка в свою очередь расчленяют на отрезки с хвоей разного возраста. Далее с разобранных таким образом по возрастам ветвей обрывают всю хвоя и взвешивают в сыром и абсолютно

<sup>10</sup> Нередко во второй половине вегетационного сезона, а в засушливые годы и ранее, наблюдается частичное опадение молодых хвойных побегов текущего года. В таких случаях одновременно с обрыванием молодой хвоя необходимо подсчитывать количество листовых следов. Затем определяется по 100 хвоникам средний вес хвоника и делается расчет опадающей хвоя текущего года. Эта величина процеживается впоследствии при определении прироста органической массы хвои. Однако следует привести наблюдения в течение вегетационного периода за развитием и опадом хвои текущего года. Возможно, что не вся хвоя текущего года достигает полных размеров.

сухом виде. Листья (хвою) рассыпают на брезенте и берут из них средние пробы (0.5 кг) для химического анализа и для определения влажности (для хвои текущего года — отдельно). Для определения влажности рекомендуется сушить среднюю пробу целиком.

Одновременно рекомендуется проводить определение поверхности листьев (хвои) отдельных пород и крон насаждения в целом. Для этого листья из разных частей кроны собирают в пачку 50—100 штук черенками в разные стороны. С помощью остро заточенной цилиндрической выскечки (удобны специальные выскечки для пыжей) вырубается стольник, помещаемый далее в блок; необходима 10—20-кратная повторность (из крупных листовых пластинок можно высечь 2—3 образца).

Зная число высеченных кружков, площадь одного кружка, вес в сыром и абсолютно сухом виде, нетрудно вычислить площадь листьев, приходящуюся на единицу их веса; имея данные о массе листьев на пробной площасти, можно рассчитать их поверхность на гектар всего насаждения.

Определение поверхности хвои можно проводить различными методами, например по методу, описанному И. В. Гулидовой (1959). Определяется длина и периметр хвоник; последний определяется на поперечных срезах хвоник под микроскопом с малым увеличением (поперечные срезы рекомендуется брать посередине и с разных концов хвоник); затем получают средние значения. При этом хвоники надо собирать из разных мест кроны и измерения производить с большой повторностью. Далее следует установить корреляцию между поверхностью и весом хвоник. Для этого берут павески хвои от 0.2 до 1—2 г, подсчитывают число хвоник в павеске и определяют их поверхность и длину. Затем полученные величины пересчитывают на павеску и далее на вес хвои модельного дерева и вес хвои насаждения на 1 га. Поверхность листьев или хвои выражается в гектарах на 1 га.

Средние ветви, очищенные от листьев (хвои), сортируют на две группы: мелкие ветви (<1 см в диаметре) и крупные ветви. Побеги текущего года учитывают отдельно. С ветвей снимают мх, лишайники и грибы и раздельно учитывают их веса; берут из них средние пробы на влажность и для химического анализа. Затем ветви взвешивают отдельно по указанным группам, а после этого измельчают. Крупные ветви расчленяют на отрезки по 10—15 см. Из каждой группы берут средние пробы (1.0—1.5 кг) для химического анализа и для определения влажности.

Особо должны быть учтываться генеративные органы — цветки, соцветия, плоды, у хвойных — шишки. Если исследования производятся в период цветения или созревания, то для учета генеративных органов могут быть использованы те же ветви, которые были взяты для определения количества листьев или хвои. При стационарных исследованиях учет должен производиться дважды: во время цветения для учета опадающих частей цветков или мужских соцветий и в период созревания плодов. Шишки у хвойных пород учитываются раздельно: старые и урожая текущего года. По взвешиванию собранных с ветвей шишек (или плодов у лиственных пород) берутся образцы на влажность и химические анализы.

Для учета семенной продуктивности определяется среднее число семян в плоде (или шишке), умножается на количество их на единицу площасти насаждения. Общий вес семян вычисляется по весу 100 штук: если семена взвешиваются в поле, то берутся образцы на влажность для последующего пересчета на абсолютно сухой вес. При наличии у семян летучек, волосков и других приспособлений желательно особо определить их вес.

Для учета количества пыльцы, продуцируемой древостоем, в период цветения срываются 100 не раскрывшихся еще цветков (или соцветий), которые оставляются в сухом помещении до их раскрытия и высapsulation пыльцы. Собранный пыльца взвешивается на аналитических весах, вычис-

ляется ее вес в одном цветке (или соцветии) и далее производится пересчет на модельное дерево и на гектар.

Взятые для химического анализа образцы стволов, ветвей, листьев (хвои), цветков, плодов и семян, мхов, лишайников, грибов сушат до абсолютно сухого состояния. Средние пробы рекомендуется высушивать целиком. Сухие ветви учитываются отдельно, из них также берется средняя проба для определения влажности и для химического анализа.

При наличии достаточных материалов могут быть установлены прямолинейные зависимости между диаметром стволов и весом листьев (хвои), весом стволов и весом листьев, весом листьев и весом ветвей, весом ветвей и весом стволов, весом стволов и весом корней. Установление таких зависимостей позволит существенно облегчить работы по определению общей фитомассы деревьев: достаточно установить вес одной из частей дерева, чтобы по уравнениям зависимости вычислить вес других его частей (Смирнов, 1961а, 1961б; Ogawa a. oth., 1965). Естественно, что эти зависимости применимы в пределах ограниченных регионов.

Учет фитомассы подлеска и подроста. Для определения органического вещества, даваемого подлеском и подростом, производят перечет этих пород (деревьев и кустарников) с определением средней высоты. При равномерном распределении подлеска и подроста перечет следует производить на площадках по  $4 \text{ м}^2$  ( $2 \times 2 \text{ м}$ ).<sup>11</sup>

При перечете 25 площадок точность учета равна 18–20%, при 36 площадках точность повышается до 15%.

При очаговом размещении подлеска и подроста перечет рекомендуется делать двумя перекрестными ленточными площадками 1 м ширины, прокладываемыми в направлениях С–Ю и З–В. Предварительно на миллиметровой бумаге оконтуриваются группы (очаги) подлеска и подроста.

Ленты прокладывают на трех очагах — малом, среднем и крупном, и перечет на них проводится на каждом метровом отрезке; на очагах большого размера — через один. Затем для каждой породы выбирают средние по высоте и развитию экземпляры (по 10 штук), которые срезают под корень. В срезанных экземплярах определяют вес стволов, ветвей (с выделением побегов текущего года), листьев (хвои с разделением на хвою текущего года и старую), берут образцы для химического анализа и определения содержания воды в целях последующего пересчета на высушеннную при  $105^\circ$  сухую массу. Найденный вес умножают на число экземпляров данной породы на площади 1 га. Складывая вес всех пород подлеска и подроста на площади 1 га, находят общий вес пород для данного типа леса и возраста.

Учет корней. У каждого спиленного модельного дерева господствующего яруса выделяют площадку для сбора и учета корней. Размер площадки надлежит устанавливать исходя из средней площади питания одного дерева, которую определяют путем деления величины пробной площади ( $\text{в } \text{м}^2$ ) на число растущих на ней деревьев господствующего яруса всех пород. Затем площадку найденного размера отбивают вокруг модельных деревьев господствующего яруса каждой породы с таким расчетом, чтобы модельное дерево находилось в центре. Расчет корней на 1 га производится на основании определения их весов у модельных деревьев в зависимости от формулы древостоя господствующего яруса пропорционально участию тех или иных пород.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Японские исследователи (Ogawa a. oth., 1965) для учета подроста и подлеска (диаметром менее 4.5 см на высоте груди и высотой менее 1.3 м) применяли те же площадки, что и для учета травяного покрова в количестве 8–10 по 1 м<sup>2</sup>.

<sup>12</sup> При наличии достаточного количества весовых данных следует вычертить график зависимости веса корневых систем от диаметра дерева. По этому графику можно вычислять вес корней для деревьев промежуточных диаметров (Смирнов, 1962).

Некоторая часть корней модельного дерева может выходить за пределы установленной описанным образом площацки, в то же время корни соседних деревьев будут на нее проникать, что в общем обеспечивает компенсацию. На отбитой площацке могут оказаться также деревья подчиненного яруса и подлесок, корневые системы (и корни) которых также подлежат учету.

Если площадь питания одного дерева меньше  $3 \text{ м}^2$ , что имеет место в насаждениях I класса возраста, то следует для учета корней брать соответственно больше деревьев, с таким расчетом чтобы учтываемая площацка была не менее  $3 \text{ м}^2$ . Если средняя площацда питания значительно превышает указанную величину, что имеет место в насаждениях старших классов возраста, то для учета следует брать половину или соответственно четвертую часть площацды питания. Площацки во всех случаях лучше брать округлые с расположением дерева в центре. Допустимо также пользование квадратными площацдами, что не дает существенной погрешности.

Для сбора корней<sup>13</sup> по наружной стороне отбитой описанным образом площацки копают траншею шириной около 0.5 м и глубиной, в зависимости от строения корневой системы, до 1.0–1.5 м или больше. Землю из траншеи откладывают на наружную сторону на подстеленный брезент. Затем поверхность площацки очищают от травяно-мохового покрова и лесной подстилки, выбрая из последней древесные корни и корни подлеска и кустарничков. Далее постепенно снимают на разостланый брезент почву слой за слоем и производят из нее выбор корней. В месте прохождения стержневого корня или глубоко идущих «якорей» производят дополнительное углубление, чтобы полностью извлечь все глубоко идущие корни. Обычно корни учитывают до глубины 1.5–2 м. Учет корней в более глубоких горизонтах почвы представляется очень сложной задачей, которую, однако, следует решать в тех случаях, когда значительные количества корней проникают на большую глубину.

В зависимости от целей работы выборку корней можно производить из каждого генетического горизонта почвы. Разделение корней в сложных насаждениях по их принадлежности к разным древесным породам на практике оказывается делом трудоемким. В дальнейшем необходимо разработать более точную методику количественного учета корней, принадлежащих различным видам растений.

Корни, собранные на брезенте, отряхивают и затем обмывают водой. Корни диаметром  $<10 \text{ мм}$  промывают на ситах, верхнее — с ячейками 3 мм, нижнее — 0.25 мм. Выброшенную на брезент почву после выбора из нее корней тщательно перемешивают, измеряют ведрами. Затем берут одно ведро и отмывают корни на сите с ячейками 0.25 мм. Полученный вес корней перечисляют на объем всей почвы и прибавляют к весу корней, непосредственно выбранных из почвы. Запасы корней можно определять также путем отмывания всей почвы на ситах, верхнее из которых имеет диаметр ячеек 3 мм, нижнее — 0.25. Во всех случаях в первую очередь извлечение корней производят из половины площацки.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Живые и мертвые корни учитываются раздельно. Полуразложившиеся остатки корней присоединяются к мертвым корням.

<sup>14</sup> Это делается для зарисовки схемы распределения корней по генетическим горизонтам. Для этого на стенку траншеи, в центре которой находится модельное дерево, накладывают металлическую сетку с квадратными делениями  $10 \times 10 \text{ см}$  и на миллиметровую бумагу наносят распределение корней в обе стороны от дерева. После этого приступают к выбору корней из второй половины площацки, в том случае если это требуется согласно ранее приведенным нормам. В тех случаях, когда в старших классах возраста для учета корней берут половину средней площацды питания модельного дерева, сначала выбирают корни из одной четверти, а затем выбрасывают землю из второй четверти, чтобы сохранить стенку для зарисовки расположения корней.

После сбора всех корней извлекают из ямы комель. Комель тщательно очищают от приставшей к нему почвы (в необходимых случаях обмывают), взвешивают и вышибают из него отрезки для анализа. Одновременно берут пробы для определения влажности.

Собранные корни после отмычки<sup>15</sup> сушат в месте, защищенном от пыли. Затем их сортируют на крупные и мелкие, уточняя разделение по размерам, и взвешивают. Одновременно берут пробы на влажность. Границу между крупными и мелкими корнями принимают условно равной диаметру 7 мм.

Для химического анализа корни собирают отдельно по видам растений и не отмывают их водой во избежание выщелачивания химических элементов. Для очистки их на ситах (0.25 мм) ополаскивают спиртом. Каждый образец для анализа должен быть весом около 0.5 кг.

Учет деятельных корней. Метод учета массы деятельных (сосущих) корней предложен А. Я. Орловым (1958). Небольшие изменения были внесены Е. М. Самойловой. Метод заключается в следующем.

С помощью металлического каркаса площадью 100 см<sup>2</sup> и высотой 10 см берут послойно монолиты почвы объемом 1000 см<sup>3</sup> (количество монолитов определяется в каждом случае в зависимости от глубины распределения деятельных корней). Из каждого слоя препаровальной иглой и пинцетом выбирают все корни исследуемого дерева диаметром меньше 0.3 мм (при исследовании корневой системы сосны пришлось ограничиться размером 0.5 мм); крупные корни при этом отбрасывают. Выбранные корни в воде очищают от микоризы и частиц почвы и, снабдив этикеткой и завернув в кальку, помещают в 70%-й раствор этилового спирта. Почву же монолита взмучивают в воде и переносят на сито диаметром меньше 0.25 мм. Остаток на сите содержит некоторое количество сосущих корней, ранее не выбранных. Из него берут две средние пробы весом до 0.5 г и также помещают в спирт. Остальное доводят до воздушно-сухого состояния, взвешивают и выбрасывают. Пробы просматривают под бинокулярной лупой при увеличении в 30 раз и выбирают живые корни исследуемой древесной породы диаметром менее 0.3 мм. Вес корней, выбранный из пробы, перечисляют на вес всего остатка. Корни, выбранные из монолита и помещенные в спирт, также просматривают под лупой, отделяют корни большего диаметра, частицы почвы и другие примеси, доводят до воздушно-сухого состояния и взвешивают. Складывая вес корней, отобранных непосредственно из монолита и на сите, получают вес корней в 1000 см<sup>3</sup>, сумму весов корней из всех монолитов затем перечисляют на гектар. Следует отметить, что в данную категорию попадают не только сосущие, но и мелкие проводящие корни; правильнее говорить о живых мелких корнях.

Для химического анализа сосущие корни можно промывать только спиртом.

#### Учет фитомассы травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова

На каждой исследуемой пробной площади (или вне ее в аналогичных условиях) закладывают по 10 учетных площадок 1 м<sup>2</sup> каждая.<sup>16</sup> Площадки

<sup>15</sup> Для окончательной отмычки мелких корней от песка, не прошедшего через сито 0.25 мм, корни помещают в высокие стаканы или цилиндры. Песчинки, более тяжелые, при этом оседают на дно. Эту операцию можно делать после предварительной просушки корней, так как сухие корни всплывают.

<sup>16</sup> При значительной однородности в строении травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова иногда оказывается возможным снизить размер учетной площадки до 0.5 м, а количество их — до 5.

закладывают в наиболее характерных местах, чтобы охватить строение покрова всего насаждения в целом, располагая их равномерно на пробной площадке. Участки с явными нарушениями типа строения травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова, присущего данному типу леса, из учета исключают (например, вывороты корней, приствольные круги и т. д.). В некоторых случаях, когда для данного типа леса характерна комплексность травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова, необходимо раздельно определить массу покрова главнейших членов комплекса с учетом занятой ими площади на пробной площадке.

Очень удобным является предварительное детальное картирование (или зарисовка на миллиметровой бумаге) микроассоциаций для последующего вычисления занимаемой ими площади на пробном участке и соответствующих дальнейших учетов фитомассы. Для получения результатов внутри каждой микроассоциации достаточно 5-кратная повторность. Практика показывает, что на пробной площади обычно выделяется не более 5 структурных элементов. При размере учетных площадок в 1 м<sup>2</sup> обеспечивается точность учета фитомассы ±8—10%.

На выбранные площадки накладывают шаблон с внутренним сечением в 1 м<sup>2</sup> и затем срезают весь растительный покров вровень с поверхностью почвы. Срезанные растения разбираются по видам, а также разделяются на листья и многолетние стебли. Отделяются сухие растения, отдельно определяется прирост текущего года у вечнозеленых кустарничков и мхов. Затем определяется граница живых и отмерших мхов, для чего побуревшая их часть берется послойно с мощностью слоя 1 см. В лаборатории на основании степени разложения мха определяется принадлежность взятых слоев к живым или отмершим мхам.<sup>17</sup> Все пробы взвешиваются и высушиваются. Для перевода веса воздушно-сухой массы на высушенную при 105° в доведенных до воздушно-сухого состояния образцах растений определяют гигроскопическую влагу. Кроме того, описанным путем весной определяют массу эфемероидов.

При учете фитомассы травяно-кустарничкового покрова полезно выделить особую рубрику для всходов и самосева древесных и подлесочных пород. Учет и тех и других производится на тех же учетных площадках с разделением по видам.

Для определения органической массы плодов и семян в травяно-кустарничковом покрове следует раздельно учитывать вегетативные и генеративные особи каждого вида. Затем на 50 экземплярах генеративных особей определяется количество и вес плодов на 1 особь. По количеству плодоносящих экземпляров на единицу площади исчисляется общий вес плодов на 1 га.

Для химического анализа берутся пробы (до 0.5 кг) растений по видам и фракциям (стебли, листья, прирост текущего года, плоды, отмершие части и т. д.).<sup>18</sup>

Учет корневых масс травянистых растений производится методом монолитов (размером 25×25 см) с отмычкой на ситах с ячейками 0.25 мм; повторность трехкратная. При этом древесные корни и корни кустарников отбрасываются. Луковицы, клубни и корневища следует учитывать особо (не соединять их с корнями). Также отдельно надо делать их химический анализ. Для химических анализов корни следует собирать

<sup>17</sup> Принято, если мх разложился более чем на 1%, относить его к отмершему. В заболачивающихся ценозах границу живых и отмерших мхов можно визуально принимать соответствующей нижней границе осени.

<sup>18</sup> Если работы производятся на стационарной пробной площади, то все учетные площадки располагаются и сборы материала для анализов и других целей осуществляются в защитной полосе или примыкающих участках такого же типа насаждения.

вручную, механически очищать их от почвы, затем ополаскивать на ситах (0,25 мм) спиртом (загрязненный спирт фильтруют и используют несколько раз). Для учета органической массы шляпочных грибов<sup>19</sup> устанавливаются сроки максимального развития грибов по видам (группам видов) и производится их сбор на площадках 10 м<sup>2</sup> (трехкратная повторность). При этом берутся пробы на влажность и после высушивания до воздушно-сухого состояния — пробы для определения гигроскопической влаги. Для химического анализа можно брать грибы по видам или по группам видов, учитывая их весовое соотношение в ценозе.<sup>20</sup>

### Учет прироста

**Учет прироста древостоя.** Учет текущего прироста древостоя можно производить различными способами в зависимости от особенностей древостоя. Так, при исследовании одновозрастных насаждений, имея серию пробных площадей разных классов возраста, получают веса модельных деревьев. На основании этих данных строят кривую (на горизонтальной оси откладывают возраст, на вертикальной — веса деревьев), по которой определяют изменение веса деревьев для промежуточных отрезков времени. Затем вычисляют средний ежегодный прирост (включающий древесину стволов, ветвей, корней, а также листья или хвою) для одного дерева,<sup>21</sup> а умножением величины этого прироста на число деревьев на одном гектаре находят средний годичный прирост древостоя на площади 1 га.

В разновозрастных лесах (а при наличии всего одной пробной площади, также и в одновозрастных) годичный прирост древостоя по высоте, диаметру и объему исчисляется на основании анализа хода роста принятыми в лесной таксации методами по пяти- или десятилетним периодам (Тюрик, 1945). Для этого используются выпиленные из модельных деревьев кружки. При этом при более точных учетах можно пользоваться сложной формулой срединного сечения Губера, при менее точных — простой формулой Губера. Для перевода полученных показателей текущего прироста из объемных единиц в весовые необходимо определить объемные веса той части древесных кружков, которая соответствует приросту за тот или иной период. К полученному весу прироста прибавляется вес коры ( $\Pi_k$ ), приходящийся на этот прирост, вычисляемый по формуле

$$\Pi_k = \frac{b \cdot n_r}{a}$$

где  $a$  — вес кружка без коры,  $b$  — вес коры кружка,  $n_r$  — вес текущего годичного прироста без коры (все выражено в граммах).

Прирост ветвей по весу определяется на основании обмеров 2—3 средних ветвей, взятых из каждой трети кроны (удобно использовать

<sup>19</sup> По Л. А. Лебедевой (1937), в лесной зоне европейской части СССР продукция грибов может достигать 10 ц/га (автор не указывает, сырой или сухой это вес; если приведенные цифры — сырой вес, то сухого органического вещества грибов будет около 1,0—1,2 ц/га). Однако грибы, являющиеся гетеротрофными организмами, не включаются в общую фитомассу, продуцируемую аэроботрофными растениями.

<sup>20</sup> Продуктивность шляпочных грибов зависит в сплошнейшей мере от хода метеорологических факторов — количества осадков в VII—VIII и температурного режима, чем обзываются значительные колебания урожая грибов в различные годы (Васильков, 1962). Таким образом, определение биологической продуктивности грибов нужно производить не только несколько раз в сезон, но и на протяжении нескольких лет.

<sup>21</sup> При расчете прироста хвои используются данные по определению запаса хвои текущего года. В эти величины вносятся поправка на основании расчета количества опавшей хвои текущего года (см. выше, в разделе об определении фитомассы листьев, хвои, ветвей, стр. 12 и 13).

те средние ветви, которые брались для учета листьев или хвои). Обезлистенная ветвь (без коры) взвешивается, измеряется ее длина (исключается прирост текущего года), и из середины ветви выпиливается кружок для упрощенного анализа прироста по диаметру (по простой формуле Губера), который условно принимается пропорциональным приросту по весу. Можно определить вес ветви с корой и затем, установив на основании весов отдельных проб соотношения весов коры и ветви без коры, вычислить вес всей ветви без коры по формуле

$$\Pi_v = \frac{n_o \cdot a}{b},$$

где  $\Pi_v$  — прирост ветви по весу (в граммах),  $a$  — вес ветви без коры (в граммах),  $b$  — объем ветви без коры (в см<sup>3</sup>),  $n_o$  — прирост ветви по объему (в см<sup>3</sup>). Затем к полученной величине прироста ветви без коры прибавляется соответствующая ей величина прироста коры (по предыдущей формуле). Далее, на основании определения прироста у нескольких ветвей вычисляется средняя арифметическая величина прироста (в %) по следующей формуле:

$$\Pi_{cp} = \frac{100 \cdot \Pi_k}{v},$$

где  $\Pi_{cp}$  — средняя арифметическая величина прироста (в %),  $v$  — средний вес модельных ветвей с корой (в граммах),  $\Pi_k$  — средний вес прироста модельных ветвей с корой (в граммах).

После этого средняя арифметическая величина прироста ветвей (в %) умножается на общий вес ветвей из данной части кроны. К ней прибавляется вес побегов текущего года у всех ветвей данной части кроны. Затем все данные суммируются для всей кроны и перечисляются на 1 га. Расчет текущего прироста корней производится на основании процентных соотношений в модельном дереве весов ствола, ветвей и корней по формуле

$$\Pi_{kp} = \frac{n_c \cdot \kappa}{c},$$

где  $\Pi_{kp}$  — прирост корней (в весовых единицах),  $n_c$  — прирост стволов и ветвей (в весовых единицах),  $\kappa$  — доля корней от суммы весов ствола, ветвей и корней (в %),  $c$  — доля ствола и ветвей от суммы весов ствола, ветвей и корней (в %).

Прирост хвои рассчитывается, как указано на стр. 12. Прирост листьев лиственных пород принимается равным запасу листьев.

Для весьма приближенного определения годичного прироста можно также использовать таблицы хода роста насаждений соответствующих регионов, где приведен ряд показателей, характеризующих изменение числа стволов, текущего прироста деловой древесины<sup>22</sup> и т. д. Переведя объемные показатели прироста древесины в весовые и зная соотношения между весом стволовой древесины, ветвями и корнями, на основании весов структурных частей модельного дерева (а также введя поправку на полноту насаждения), можно рассчитать весовые показатели прироста стволов, ветвей и корней. Для получения весов полного прироста к этой величине прибавляется вес прироста хвои (листвы), как указано выше.

**Учет прироста корней.** Определение количественных показателей годичного прироста корней в лесных сообществах — весьма трудный вопрос. В настоящее время могут быть рекомендованы лишь косвенные методы для исчисления прироста корней отдельных видов, входящих в состав фитоценозов. Так, при наличии чистых насаждений деревьев

<sup>22</sup> Последняя составляет около 75% стволовой древесины.

разных классов возраста или кустарников (например, в питомниках, лесных посадках и т. п.) определяется количество корней у особей разного возраста. При этом следует выемку корней производить с площади питания особи (модельный экземпляр) и подбирать посадки одинаковой густоты. Повторность должна быть трех-пятикратная.

Распределив эти данные по возрастам, можно вычислить средний прирост корней за 1 год. Одновременно с учетом живых рекомендуется определять массу отмерших корней, что позволит установить соотношение этих и других.

Второй способ (модификация метода, предложенного А. А. Молчановым и В. А. Губаревой, 1965) состоит в следующем. Вычислив площади питания дерева (или кустарника) определенного возраста, нужно очертить вокруг его основания круг, соответствующий площади питания. Далее следует обозначить сектор, равный  $\frac{1}{5}$  площади питания, и в пределах сектора до глубины распространения основной массы корней (1–1.5 м) удалить послойно (по генетическим горизонтам) почву с корнями. Затем из этой почвы отобрать все корни с разделением на живые и мертвые, и почву вновь засыпать в шурф, соблюдая последовательность генетических горизонтов. С поверхности сектор обозначить системой колышков или ограничить проволокой. На одной из таких площадок через два года (на другой — через три и т. д.) вновь произвести раскопку и определить вес живых (а также отмерших) корней.

Получив весовые данные для прироста корней (а также их отмирания) за 2, 3, 4, 5, и т. д. лет для деревьев разных классов возраста, можно выявить закономерности хода роста (а также отмирания) корневых систем у древесных или кустарниковых пород.

**Учет прироста подлесочных пород и подроста.** Довольно сложным оказывается определение ежегодного прироста фитомассы подлесочных пород и подроста. В этих целях по годичным кольцам на модельных экземплярах определяют возраст каждой породы. Затем путем деления сухого веса среднего модельного экземпляра (без листьев) на средний возраст определяют средний прирост древесины (ствола, ветвей) этого экземпляра, а умножением на число экземпляров этой породы на 1 га вычисляют прирост древесины на гектар. Складывая прирост всех пород, находят общий их прирост. Этот прием недостаточно точен, так как прирост подлесочных пород по годам в разном возрасте неодинаков. Однако, если учесть общую небольшую величину массы подлеска по сравнению с массой древостоя, то ошибка не будет значительной.

При расчетах прироста подроста и подлеска можно также пользоваться тем же методом, что и при определении прироста ветвей.

Для определения общей массы органического вещества, синтезируемого подлеском и подростом за год, к величине прироста их древесины следует прибавить массу листвы (хвои),<sup>23</sup> произведенную этими породами за год.

**Учет прироста кустарничкового яруса.** Прирост кустарничков учитывается на основе выбора модельных кустов разных классов, размеров и возрастов. Подробная методика изложена ниже в разделе о приросте пустынных полукустарников (см. стр. 45).

**Учет прироста трав.** Прирост трав в надземной части принимается равным запасу фитомассы трав, а прирост их корней — равным 30% от запаса корней.

**Учет прироста грибов.** Прирост грибов принимается равным их фитомассе.

<sup>23</sup> Последнюю на основании определения количества хвои текущего года.

**Учет прироста мхов.** Прирост мхов определяется следующим образом (Корчагин, 1960, и Левина, 1960, с нашими дополнениями). В начале весны у отдельных экземпляров мхов (берется 100 штук в разных микрологических условиях) отмеряют 2 см от верхушки и в этом месте перевязывают тонкой красной нитью. Через год растения вырывают и отмеряют от красной нити вверх 2 см. Затем часть стебелька выше 2 см срезают. Эта часть и соответствует приросту мха за год. Срезанные части собирают вместе, взвешивают и берут навеску для определения влажности. Всю пробу не выбрасывают, а используют для химических анализов. Для дальнейшего пересчета взвешивают 500 особей мха (только их живую часть), взятых в разных участках (в трех-пятикратной повторности). Затем средний вес 500 экземпляров сопоставляют с весом мха, собранного с единицы площади (при закладке метровых площадок), и определяют число особей на этой площади. Зная средний прирост одной особи, рассчитывают прирост мха на 1 га.

У ряда видов мхов (некоторых видов *Dicranum*, *Drepanocladus*, *Sphagnum*, *Aulacomnium* и др.) годичный прирост можно отделить по окраске, а также по некоторым морфологическим признакам (см.: Корчагин, 1960). Части стеблей, соответствующие годичному приросту, срезаются с определенной учетной площадки, взвешиваются в сыром виде (берется средняя проба на влажность), полученные данные пересчитываются на 1 га.

**Учет прироста лишайников.** В связи со значительным разнообразием форм лишайников нет единого метода определения их прироста (см.: Корчагин, 1960). Используя морфологический метод, разработанный на примере кустистых видов рода *Cladonia*, определяют возраст лишайника по числу колен на главной ветви подсienia; путем деления веса отдельного подсienia на число колен, соответствующее числу лет, определяют вес среднего годичного прироста данного подсienia. Суммируя величины прироста отдельных подсиев, определяют прирост «кустника». Используя данные о массе лишайников на площади 1 м<sup>2</sup>, определяют прирост лишайников на этой площади, а затем пересчитывают на 1 га. Данные выражают в сухом весе прироста, для чего определяют влажность лишайников. Берут пробу для химического анализа. Определение возраста возможно и по косвенным признакам, например по возрасту ветвей, на которых поселились лишайники, или по возрасту гарей, на которых развился лишайниковый покров. Для этого необходимо установить путем непосредственных наблюдений, на каком году ветви (или гаря) появляются первые поселения лишайников. Определив возраст участка ветви с лишайниками, можно установить и возраст последних. Путем деления веса лишайника на число лет исчисляется средний годичный его прирост. Точно так же поступают и с лишайниками на гарях и свежих субстратах, время образования которых известно. Для определения прироста лишайников других родов имеются и другие способы (Корчагин, 1960; Суворов, 1961).

#### Сбор и учет опада

**Учет листового опада.** Для определения массы ежегодно поступающего на поверхность почвы органического вещества со сбрасываемой листовой (хвойей), плодами, частицами коры, ветками и другими частями древесного и кустарникового яруса, объединяемыми под общим наименованием «листовой опад», необходимо проведение его систематического учета.

Для сбора листового опада на каждой пробной площади устанавливают по десять ящиков. Конструкция этих ящиков следующая. Каждый ящик имеет квадратное дно с внутренней площадью 1 м<sup>2</sup> и боковые стени высотой 10–15 см. Ящики лучше делать из пластика, причем лучше всего делать его в форме усеченной пирамиды, опущенной вершиной вниз

(для защиты от выдувания листьев ветром). Нижнюю часть пирамиды закрывают густой капроновой сеткой, которая задерживает опад, давая свободно стекать атмосферным осадкам. Если изготовление подобных ящиков встречает непреодолимые затруднения, то приходится ограничиваться ящиками более простой конструкции. В этом случае делают у ящиков плоское дно с несколькими отверстиями для стока воды. Ящики устанавливают на четырех пожках высотой около 15—20 см от поверхности почвы.

На пробной площи ящики располагают в соответствии с сомкнутостью крон и полнотой древостоя с таким расчетом, чтобы охарактеризовать всю пробную плошь изучаемого древостоя.

Сбор листового опада из ящиков производят летом по мере его накопления, а в периоды массового листопада не реже чем 1 раз в неделю. При более редком сборе опада есть опасность его существенного изменения выщелачивающим действием атмосферных осадков.

В хвойных и смешанных насаждениях сбор опада следует производить круглый год, прерывая его лишь на время установления постоянного снежного покрова. В этом случае зимний сбор опада учитывают весной суммарно. Особое значение имеет сбор опада в осенние месяцы (сентябрь—ноябрь), когда в лиственных насаждениях поступает главная масса листового опада.

Опад собирают в мешки из бязи (или другой материи), обозначенные номером, соответствующим номеру ящика, и берут пробы для определения влажности. Собранный опад в тот же день доставляют в помещение. Там его расстилают на листах бумаги для просушки (отдельно для каждого ящика) и доводят до воздушно-сухого состояния (в химических лабораториях сушить опад не рекомендуется). После этого опад взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г. Сумма веса опада из всех десяти ящиков в граммах соответствует весу опада в кг/га.

Для химического анализа и определения гигроскопической влаги из всех 10 ящиков за все сроки берется средняя проба. Во избежание внесения погрешностей за счет выщелачивания для химического анализа лучше брать опад, собранный в сухое время года.

При более детальных исследованиях листовой опад разделяется по породной принадлежности и по фракциям. Для этого опад разделяют на листья (хвою),<sup>24</sup> плоды, ветви, кусочки коры и т. д. Листья и хвою, а также по возможности и остальное разделяют по породной принадлежности. После такой сортировки обычно остается некоторая масса растительных остатков, породную принадлежность которых трудно установить; ее учитывают суммарно. Каждую выделенную часть взвешивают отдельно и суммируют по десяти ящиков. Вес показывают в кг/га. Из собранных фракций берут средние пробы для химического анализа в количестве около 0,5 кг каждой пробы и для определения гигроскопической влаги.

Масса образующихся листьев и плодов и соответственно количество листового опада довольно значительно колеблется в зависимости от погодных условий отдельных лет. В некоторые годы могут оказывать влияние инвазии насекомых, повреждающих листву. Поэтому устойчивые данные по массе листового опада могут быть получены лишь на основе многолетних исследований.

Учет и вычисление опада стволов, ветвей и корней древостоя. Одновозрастные насаждения. Поскольку нет практической возможности закладывать пробные площи по возрастным ступеням

<sup>24</sup> По весу опавшей листвы (хвои) можно проконтролировать полученные величины годичного прироста листвы (хвои) древесно-кустарникового яруса. Эти величины должны быть очень близкими или совпадающими.

в 1 год или даже в 5 лет, то в реальных условиях приходится ограничиваться их закладкой по возможности по классам возраста. При вычислении изменения числа стволов, их веса, количества отмирающих деревьев по промежуточным, более мелким отрезкам времени приходится пользоваться методом экстраполяции.

Для определения изменения числа деревьев по мере развития насаждения на основании данных перечета числа деревьев на пробных площиах, заложенных в древостоях разного возраста, но в одном типе леса, строят кривую: на вертикальной оси откладывают общее число деревьев на 1 га (без подроста и подлеска), согласно данным учета, а на горизонтальной — возраст древостоя. По полученной кривой определяют изменение числа деревьев в насаждении по пятилетиям для промежутков между возрастами древостоя на пробных площиах. Делением на 5 можно определить изменение числа деревьев по годам. Сходные результаты можно получить, используя уравнение Гаусса.

Число ежегодно отмирающих деревьев можно определить путем вычитания из числа деревьев в начале пятилетия числа деревьев в конце пятилетия, т. е. за пятилетний срок. Путем деления этой величины на 5 находят число ежегодно отмирающих деревьев.<sup>25</sup>

Учет количества сухого органического вещества, ежегодно поступающего в почву в процессе естественного изреживания древостоя, производят путем умножения веса среднего дерева подчиненного яруса (без листвы) на количество ежегодно отмирающих деревьев. Все расчеты ведут на площи в 1 га. Для расчетов берут вес среднего дерева подчиненного яруса, так как отмирают в процессе изреживания главным образом деревья, отставшие в росте.

Разновозрастные насаждения. В разновозрастных лесах необходимо проводить систематические многолетние наблюдения над ходом роста (увеличением толщины и высоты) каждого дерева на пробной площи. В. В. Смирнов (устное сообщение) рекомендует относить к отмершим деревьям те, диаметр которых на высоте 1 м 30 см не увеличился (а иногда и уменьшился) сравнительно с последним наблюдением прошлого года. Зная число и объемы отмерших деревьев за несколько лет, можно вычислить их вес, а также вес ветвей и корней на основании структуры фитомассы модельных деревьев данной ступени толщины. Затем делением полученных данных на число лет наблюдений можно получить вес отмерших деревьев за 1 год.

Вычисление по таблицам. Весьма приближенно можно получить величины ежегодного опада за счет естественного изреживания древостоя, пользуясь справочными таблицами хода роста лесных насаждений, составленными для исследуемого региона. Вычисляя по числу отмерших деревьев их объем и затем веса, а также на основании структуры фитомассы, веса ветвей и корней, вводя поправку на полноту насаждений, можно ориентировочно вычислить величины опада за счет отмирающих деревьев.

Учет опада кустарникового и травяно-мохового покрова. Определение опада кустарников. Достаточно разработанной методики учета опада кустарникового-травяного и мохового покровов в настоящее время нет. Имеется опыт учета опада кустарников в сосновых лесах методом расчистки площиах от опада прошлых лет, а иногда и мохового покрова (Левина, 1960). Однако ввиду того что при этом, очевидно, имеет место нарушение экологического режима, рекомендуется

<sup>25</sup> Проведенные в Воронежском заповеднике повторные перечеты деревьев на тех же пробных площиах через 5 и 10 лет дали хорошее совпадение с изменением в числе деревьев, установленным описанным путем экстраполяции.

испытать следующий метод. Сбор опада кустарничков производить в небольшие сита (диаметром 10—25 см) с капроновой сеткой и с ячейками 1 мм. Сита в количестве 20—25 штук равномерно распределяются под растениями. При этом следует иметь в виду, что часть органов кустарничков (листья, плоды) может остаться на растениях над учетными ситами; их следует собрать и добавить к собранному в ситах опаду. Зная площадь сит и исключая опад деревьев, попавший в сита, вычисляют количество опада кустарничков в кг/га.

Опад травянистых растений принимается равным запасу надземной их части с учетом раздельно массы весенних эфемероидов и длительно вегетирующих трав.

Опад корней многолетних трав принимается равным  $\frac{1}{3}$  части от запаса их корней (об этом см. ниже, в разделе «Учет динамики органической массы в степях», стр. 36).

Определение массы ежегодно отмирающего вещества мхов, лишайников и грибов. Ежегодно отмирающую массу у мхов можно принимать равной около 70% годового прироста (Пьявченко, 1960).

Опад лишайников условно принимают также равным 70% годового прироста. Надо иметь в виду, что продолжительность жизни многих видов лесных лишайников очень велика — до 50—60 лет (Корчагин, 1960; Суворов, 1961).

Опад грибов принимается равным биологическому их запасу, определяемому несколько раз за сезон по мере развития основных групп.

Учет лесной подстилки. Подстилку берут с помощью шаблона диаметром 20—25 см, в пятидесятикратной повторности,<sup>26</sup> с разных мест пробной площади, несколько раз в течение сезона.

Сбор лесной подстилки осуществляют суммарно или разделяя ее на подгоризонты; слой A<sub>1</sub>, состоящий из сравнительно мало измененного опада (хвои, плодов, кусочков коры, мелких веток и т. д.); слой A<sub>2</sub>, где опад уже заметно изменен процессом гумификации, но отдельные части еще сохранили до известной степени морфологическое строение; слой A<sub>3</sub>, состоящий из однородной массы малящего органического вещества — перегной (Сукачев и Зонн, 1961).

При сборе подстилки минеральные примеси, живые части мхов и других растений, а также корни удаляются. Собранную подстилку соединяют по 5—10 проб, взвешивают по слоям и перечисляют на 1 га. Из средних проб берут образцы для последующего химического анализа в размере около 0,5 кг. Этот образец в дальнейшем доводят до воздушно-сухого состояния, а затем вновь взвешивают и берут из него среднюю пробу для определения гигроскопической влажности.

Результаты анализа выражают в весе высущенной при 105° массы в кг/га по слоям подстилки и в сумме на всю подстилку.

#### Формы рабочих записей

При определении запасов фитомассы в лесных насаждениях рекомендуется пользоваться формой записи, принятой при таксации леса (Тюрик, 1945). Форма перечетной ведомости приводится в табл. 1.

В табл. 2 дана форма ведомости для учета модельных деревьев по В. В. Смирнову и в табл. 3 — форма для расчета влажности.

<sup>26</sup> При однородности пробной площади повторность сокращают до 30—20. Кэпстик (Capstick, 1962) при десятикратной повторности получал данные с ошибкой 6,2%. Он же использовал маленькие цилиндрические пробы (с площадью сечения 1,00, 2,63, 8,50 и 41,50 см<sup>2</sup>) в двадцатикратной повторности и получил данные с ошибкой в пределах 12,3—8,8%.

Аналогичные формы могут быть использованы при учете подроста и подлеска, а также, с некоторыми дополнениями, — для травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова.

Таблица 1  
Рабочая перечетная ведомость древостоя  
(Площадь . . . . га).  
(Описание местонахождения измеряемого насаждения).  
(Характеристика насаждения).

Ступени толщины деревьев (см)	Порода — сосна			Порода — береза и т. д.
	отметки измере- мых дер- ревьев при перечете	число деревьев	измеренные высоты (м)	
2	☒ :	12	3; 3.5; . . .	
4	☒ □	16	4; 3.5; . . .	
6	☒ □	18	7; 7.5; . . .	

При расчетах и учетах фитомассы прироста и опада рекомендуется форма, позволяющая сопоставить эти величины и взаимно их проконтролировать (табл. 4).

Параллельно рекомендуется по аналогичным формам (см. табл. 4) составлять сводные ведомости учета сырого веса фитомассы, прироста и опада и количества воды в разных компонентах насаждения.

В разделе о построении баланса органического вещества и элементов питания приводится еще ряд форм записи для конкретных сообществ разного типа (см. стр. 105—116).

#### УЧЕТ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ В СТЕПЯХ

##### Выбор пробной площади

Для указанной цели следует выбрать типичный участок степи размером не менее 400 м<sup>2</sup>, а желательно и более (0,25—0,5 га), в особенности при организации продолжительных стационарных наблюдений. При выборе участка следует руководствоваться указаниями в статье А. А. Юната (1964 : 19—25). Описание пробной площади производится общепринятым способом (см.: «Методика», 1938), и в пределах ее намечаются в необходимом количестве площадки или определенных размеров транsects (в зависимости от принятого метода учета).<sup>27</sup> Все учеты в дальнейшем перечисляются на площадь 1 га и выражаются в центнерах (ц/га) абсолютно сухого вещества.

##### Учет фитомассы травостоя

Учет надземной фитомассы. Определение общего количества надземной органической массы в степных сообществах следует производить в период максимального развития травостоя. Однако этот пе-

<sup>27</sup> Для определения количества фитомассы с точностью  $\pm 10\%$  обычно достаточно 10 площадок по 1 м<sup>2</sup> или 3—4 площадки по 4 м<sup>2</sup> (Раменский, 1937; Работнов, 1963); однако в зависимости от структуры сообщества количество площадок может быть больше или меньше (Понятовская, 1964; Суховерко и др., 1966). Однако для получения более точных данных необходимо брать десятки, а иногда и сотни площадок (Раменский, 1937, 1938; Дружинина, 1963; Работнов, 1966).

Таблица 2

Рабочая ведомость модельных деревьев (по породам), взятых на пробной площади № 1 (0,4 га) в Михайловском лесничестве Государственного лесного института

№	Марка непрерывного непеска	Состав непеска на 85-86-	Состав 1-3 м (см)	Бисектриса (м)	Диаметр ядра (м)	Руда и модель	Б3	Грохот	Сборка	Безпарат (м/т)	Строительный материал	Нетто	Следующий вес (тн)											
													Корпус	Крышка	Смена									
1 (госна)	2	3	4 (береза)	24,4	26.VIII	10	6,20	7,20	11,2	12,7	23,9	55	30,10	—	84,90	35,34	1,35	534,35	91,50	28,50	7,50	22,50	3,20	0,40

риод наступает в разных подзонах степей в различное время и, кроме того, зависит от изменений климатических условий в отдельные годы.<sup>25</sup> Обычно максимум нарастания органической массы совпадает с фазой массового цветения (Ларин, 1936), когда достигается наибольшая сложность степного покрова (Алексин и Уранов, 1933). Поэтому следует не менее двух раз в месяц производить укосы, что позволит определить срок наступления максимума продукции. (Собранные за период наблюдений материалы срочных укосов могут быть использованы для суждения о динамике нарастания надземной фитомассы).

В степных травостоях, особенно в условиях заповедности или слабого пастбищного и сенокосного использования, сохраняется большое количество ветоши — отмерших, но еще не упавших на почву прошлогодних (а иногда и ряда предшествующих лет) листьев и стеблей. Естественно, что вся ветошь должна быть тщательно удалена из укосных образцов. Однако при этом следует иметь в виду, что в процессе вегетации подсыхает часть побегов текущего года,<sup>29</sup> которые при разборке образцов не следует выбрасывать, а учитывать вместе со всей «живой» массой (высохшие побеги нынешнего года легко отличимы от побуревших прошлогодних и более старых).

Срезание растений производят в уровень с почвой («под корень»). Срезанную массу немедленно взвешивают. Взятие укосов надлежит производить в середине дня, между сходом утренней росы и началом образования вечерней.

<sup>28</sup> Учеты органической массы в течение одного сезона могут дать величины, очень резко отличающиеся от средних; поэтому следует проводить наблюдения на протяжении ряда лет.

процессами образования новых побегов идут в той или иной степени процессы отмирания» (Смелов, 1947 : 72).

Таблица 3  
оцененных пород

Т а б л .

Сводная ведомость учета фитомассы, текущего прироста и опада  
(абсолютно сухой вес, ц/га)

Растения и их части	Фитомасса	Текущий прирост	Опад.	Истинный прирост
Древостой				
Сосна	хвоя текущего года » прошлых лет ветви крупные » мелкие шишки семена ствол корни крупные (в том числе комель) корни мелкие » сосущие			
Ереза	листья ветви крупные » мелкие сережки семена ствол корни крупные (в том числе комель) корни мелкие » сосущие			
Ябина	листья ветви плоды ствол корни			
Кустарничковый ярус				
Берника	листья плоды ветви корни			
Бруслика	листья этого года » прошлых лет плоды ветви корни			

Таблица 4 (продолжение)

Растения и их части	Фитомасса	Текущий прирост	Опад	Истинный прирост
Энифиты (на стволах и ветвях)				
Мхи { живая часть этого года старая часть				
Лишайники				
Папоротники				
Напочвенный покров				
Травы { надземная часть корни				
Мхи { живая часть этого года старая часть				
Лишайники				

Полученные укосные образцы следует возможно скорее разобрать по видам (особенно это относится к эдификаторам и доминантам, которые по массе органического вещества занимают существенный процент от общего его количества) и взвесить в сыром виде все полученные фракции. Виды, на которые приходится менее 10% фитомассы, можно учитывать по общепринятым группам (злаки, бобовые, разнотравье). Во всех случаях необходимо взять образцы для определения влажности. Далее необходимо определить массу, приходящуюся на однолетние и многолетние части растений. К последним в составе степного травостоя будут отнесены многолетние одревесневшие части (стволики и ветви) степных кустарничков и полукустарничков, а также многолетние узлы кущения дерновинных злаков, или парциальные кусты (по Серебрякову, 1952).<sup>30</sup> Изучение этих частей у степных злаков требует еще специального внимания ввиду крайней недостаточности материалов.

Следует иметь в виду также, что у злаков удлиненные побеги к зиме обычно отмирают, укороченные же большей частью сохраняются, продолжая жить и зимой (Смелов, 1947); то же отмечается и у осок. Например, у *Carex physodes* генеративные побеги образуются обычно на 2—3-м году, но иногда развитие их задерживается до 11 лет (Башкатова, 1953).

Исходя из этого не все зеленые побеги злаков можно отнести к рубрике «однолетней части» фитомассы. Требуются специальные тщательные наблюдения над судьбой укороченных побегов злаков и стеблевых органов других групп растений, если учесть, что «зимовка в зеленом состоянии представляет обычное явление у многолетних трав в различных природных зонах» (Смелов, 1947 : 176).<sup>31</sup>

<sup>30</sup> У *Poa bulbosa* узлы кущения размещаются на поверхности почвы, у многих же других дерновинных злаков — ниже уровня почвы. У некоторых злаков положение узла кущения может меняться от условий жизни (Персикова, 1959б). Продолжительность жизни узлов кущения может быть очень различной. Так, узел кущения у *Stipa glareosa* на высокогорьях Памира живет от 3 до 6 лет (Стешенко, 1952), у *Nardus stricta* на лугах Московской области — от 6 до 8 лет (Персикова, 1959а) и т. п.

<sup>31</sup> У луговых растений в поймах (Серебрякова, 1956) листья имеют продолжительность жизни от 3—4 месяцев до 1 года. Отмирание листьев происходит в течение всего года. Переизмывавшие листья ассимилируют обычно только до появления новых

На основе этих наблюдений можно будет произвести необходимые расчеты для правильного вычисления количества действительно однолетних частей (отмирающих и поступающих в опад в текущем году) и многолетних, а также зимующих (отмирание которых наступит в следующем году).

Во многих типах степей распространены мхи и лишайники. В некоторых случаях мхи могут попасть в укосы, и их следует учесть отдельно. Чаще же мхи и лишайники занимают участки между цветковыми растениями, на пятнах голой почвы, на обломках щебня. В таких случаях учет их необходимо проводить особо в сроки укосов травостоя, используя методические приемы, изложенные выше (стр. 16 и 17).

Точно так же следует учесть и количество органического вещества почвенных водорослей (об этом см. ниже, стр. 41—44).

Учет корней. Учет корней и других подземных частей растений в степных сообществах надлежит производить в соответствии с широко известным методом монолитов, изложенным М. С. Шалытом (1960). При этом на изучаемой площадке (или трансекте), с которой срезана надземная фитомасса (или на тщательно подобранный аналогичной площадке), закладывается шурф, на одной из стенок которого вынимается монолит размером 50×50 см на глубину распространения корней. Отмытка корней или выборка их вручную (в случае песчаных почв) производится так же, как это описано в разделе о лесах (стр. 14—16). Стенки шурфа после выемки монолита могут быть использованы для взятия образцов корней для химических анализов и определения гигроскопической влаги. В связи с трудоемкостью работы по отмытке корней можно ограничиться двукратной повторностью.

Представляется целесообразным испытать некоторое изменение этого метода, а именно: вместо равносторонних брать, так сказать, ленточные монолиты того же объема при ширине их 20 см. Такие монолиты удобно расположить вдоль стенки траншеи. Таким образом, взамен равностороннего (со стенками по 50 см) будет взят параллелепипед со стенками 20 на 125 см. Придание монолиту вытянутой формы позволит получить данные о количестве подземных частей растений, точнее характеризующие степное сообщество, поскольку в учет попадут более разнообразные участки, чем это может быть достигнуто при квадратном сечении монолита. Взятие необходимых объемов почвы при рекомендуемом способе может быть осуществлено на обеих длинных стенах почвенного шурфа, и таким образом при этом будет осуществлена двукратная повторность.

В отличие от надземной массы, достигающей максимума в период цветения, количество корней достигает максимума к концу вегетации.<sup>32</sup>

молодых весенних листьев. Эти в свою очередь отмирают, когда образуется летняя генерация листьев, которые заканчивают свои функции поздней осенью и отмирают одновременно с образованием специальной зимующей позднеосеннеей генерации листьев. В отличие от этого у некоторых растений высокогорий годичные побеги живут от 2—3 и до 5—8 лет (Стешенко, 1960), что связано с замедлением темпов развития в крайних условиях жизни (Заленский, 1961). Развитие побега от почки до цветения, плодоношения и отмирания у большинства луговых растений продолжается 3 года (точнее, 3 вегетационных сезона), реже 4, а иногда и больше (например, у *Dactylis glomerata* и *Deschampsia caespitosa* цветение наблюдается на 5—6-й год).

<sup>32</sup> Это установлено наблюдениями С. П. Смелова (1947) над луговыми злаками. По данным С. А. Аллева (1960), в полупустынях Азербайджана максимум развития корней приходится на весенне-летний период. В то же время известно, что некоторые группы растений ведут себя иначе. Так, у луковичных эфемерондов корни развиваются ранее надземных побегов и рано же отмирают; у ряда других растений максимум развития корней наступает позже, позже происходит и их отмирание. Таким образом, этот вопрос еще нуждается в специальном исследовании.

Широко известно также, что корневые системы луговых и степных растений, подвергавшихся отчуждению надземной массы (при сенокощении или выпасе), значительно короче и образуют меньшую массу по сравнению с растениями, не подвергшимися скашиванию или поеданию.

Исходя из сказанного, взятие образцов для определения количества корней следует производить в конце вегетации и лучше на участках с неизмененным травостоем.

При разборке отмытых подземных органов узлы кущения дерновинных злаков, луковицы, клубни и корневища учитываются отдельно от корней. Учет деятельных корней производится так же, как и в лесах (см. стр. 16).

В предлагаемых методиках производится определение всей массы корней как живых, так и отмерших. До настоящего времени надежные методики отделения тех и других корней практически отсутствуют. Наиболее обнадеживающие результаты дает метод окрашивания. В этом отношении перспективен ТТС (*Triphenyltetrazolium chlorid*), дающий ярко-красную окраску живых тканей.

### Учет прироста

Определение прироста у степных и вообще травянистых растений требует различных подходов в соответствии с принадлежностью их к той или иной жизненной форме и представляет нелегкую задачу, если поставить целью учесть прирост органического вещества за год во всем сообществе, его годичную продукцию.

Наиболее просто дело обстоит в одновидовых синузиях или одновидовых сообществах однолетних растений, в которых прирост равен фитомассе, накопленной за весь период развития. Гораздо сложнее оказывается определить прирост в сообществе, образуемом многолетними травянистыми растениями, принадлежащими к различным экобиоморфам.

У одних травянистых многолетников в конце вегетации происходит полное отмирание надземных органов, и в следующем году развитие новых начинается, так сказать, с нуля. Таким образом, накопленная ими за период вегетации органическая масса будет отвечать понятию годичного прироста. У других же растений новые вегетативные побеги развиваются осенью, продолжают жизнь зимой и завершают свой рост весной или летом, сменяясь новыми побегами, часть которых отмерет к зиме, а часть может сохраниться до весны. У монокарпиков количество органической массы в год розеточного развития будет существенно отличаться от массы в год цветения и плодоношения, и т. д. и т. п.

Особенно труден в силу крайне слабой изученности вопрос об учете прироста узлов кущения дерновинных злаков. Можно условно принять, что в устойчивом степном сообществе прирост узлов кущения уравнивается с их опадом (см. ниже, стр. 33). Поэтому для правильного определения полного количества органического вещества, накопленного за год, т. е. прироста, необходимы тщательные стационарные наблюдения.

Укос, взятый в период максимального развития травостоя, т. е. фитомасса, не равносценен полной годичной продукции, так как часть растений, например эфемеры и эфемероиды, уже выпадет из травостоя, а в то же время некоторые растения, как например полыни и маревые, еще не достигнут фазы максимального развития. Поэтому учет массы, поставляемой этими группами растений, необходимо производить особо в сроки их максимального развития и суммировать вместе с максимальной фитомассой (из которой, естественно, необходимо отбросить часть, приходящуюся на долю

этих групп растений). Так, например, при учете весной фитомассы эфемеров из нее надо снять веса всех тех видов, цветение которых приурочено к более поздним срокам, а из летнего укоса (взятого в период максимального развития травостоя) необходимо изъять сухие остатки эфемеров. Точно так же надо изъять и неполностью еще развивающиеся растения из семейства маревых, которыми полная продукция будет достигнута позднее, осенью, и должна быть учтена именно в этот период. Естественно, что при учете маревых из веса укоса должны быть исключены веса всех растений, максимум развития которых приходился на летнее время.

В подобных сообществах годичный прирост всегда окажется больше, чем фитомасса, количество которой было определено однократно в один из моментов в течение вегетационного периода.

В то же время следует учитывать также и то, что у луговых и степных злаков происходит появление новых побегов и позже фазы цветения и плодоношения, продолжающиеся до или почти до наступления зимнего покоя; при этом у новых побегов при достаточном их развитии осенью появляются свои боковые побеги (Смелов, 1947 : 78). Это обстоятельство также требует специальных наблюдений и дополнительных учетов, для того чтобы более полно и точно определить все количество органического вещества, накапливаемого в сообществе, т. е. полный годичный прирост надземной части растений. Учет полной продукции травяного покрова можно производить также по методу, разработанному В. Б. Сочавой, В. В. Липатовой и А. А. Горшковой (1962). В этих целях в изучаемой ассоциации выбирается «модель ассоциации» — типичный участок в 10 м<sup>2</sup>. Участок наносится на план, подсчитывается число особей каждого вида. На соседней с «моделью» площади подбираются метровые квадраты для ежедекадных укосов в трехкратной повторности; растения взвешиваются по видам, и подсчитывается число их особей. Квадраты выбираются по признаку максимального сходства с «моделью»; если на скашиваемом метре отсутствует какой-либо вид, находящийся на модельном участке, то он дополнительно срезается по соседству (в количестве особей, пропорциональном встречаемости на «модели») и прибавляется к укосу данного квадрата.

Ежедекадные укосы позволяют установить максимальную продукцию для каждого вида. Полная продукция «модели», определяемая суммированием максимальной производительности каждого вида, будет составлять прирост всего сообщества.

В. Н. Голубев (1963) предложил производить определение прироста органического вещества методом учета отмирающих органов растений на протяжении вегетационного периода. Еще нет публикаций о применении этого метода в практике стационарных работ, чтобы можно было дать его оценку. Вызывает опасение то, что при частом «вмешательстве», например в дерновину ковылей или в кусты люцерны, для систематического удаления подсыхающих листьев и стеблей могут сильно нарушиться нормальные условия существования растений и итоговая картина окажется искаженной.

Можно испытать еще следующий метод. Закладываются ряд площадок (не менее трех) по 1 м<sup>2</sup>, лучше удлиненной формы, 20×500 см. С начала вегетации производятся регулярные наблюдения (зарисовки, фотографирование) за ростом и развитием всех видов растений в течение вегетационного периода. Учитывается количество экземпляров каждого вида по 2—5 классам размеров. Выявляются сроки максимального развития тех или иных видов (по замерам растений). По достижении максимального развития (обычно это фаза цветения) особи перевязываются тонкой красной нитью. На соседнем участке подбирается 10 точно таких же по раз-

меру и развитию экземпляров, которые срезаются. Далее определяется средний вес 1 особи. Сумма весов растений, срезанных за вегетационный период, и дает общее количество нарастающей органической массы, т. е. прироста. При этом периодическими наблюдениями устанавливается отмирание тех или иных органов растений, выросших в течение вегетации в данном году. Путем срезания этих органов у растений, взятых с соседних участков, в разные сроки вегетации устанавливается их вес. Необходимо учесть также вес стеблей и листьев, нарастающих у ряда растений в осеннюю фазу вегетации, путем срезания их у аналогичных особей на соседнем участке. Вес и тех и других следует прибавить к весу органической массы, полученному для срезанных растений в период максимального развития надземной их массы. Ожидается, что этот метод может быть осуществлен и дать удовлетворительные результаты в условиях сравнительно разреженного травостоя.

Каждый из предложенных методов имеет свои привлекательные стороны, но также и недостатки, например высокую трудоемкость.

Для правильного определения прироста исследователь всегда должен хорошо знать структуру изучаемого степного (или иного травяного) сообщества и постоянно стремиться учесть полную продукцию растительной массы, что можно осуществить только в условиях стационарных исследований.

Прирост корней у многолетних степных растений не изучен, и этот вопрос требует первичных специально поставленных исследований. Пока что условно можно принимать, что прирост корней в степном сообществе равен  $\frac{1}{3}$  от количества общей их массы.

Прирост мхов и лишайников определяется, как указано выше в разделе о лесах (стр. 21).

Прирост почвенных водорослей также совершенно не изучен. Можно приравнивать его к сумме фитомассы водорослей, определенной во все сроки наиболее активного накопления ими органического вещества в течение года.

Таким образом, величина прироста органического вещества за год в степных сообществах должна слагаться из следующих величин.

1. Прирост однолетних органов, в который включаются: а) надземная фитомасса однолетних растений; б) надземная масса многолетних травянистых растений (за вычетом узлов кущения дерновинных злаков), учтенная в момент максимального развития; в) листья и другие органы многолетних травянистых растений, отмершие до момента учета; г) листья и другие органы многолетних травянистых растений, развившиеся после учета и до конца вегетационного периода; д) надземная масса однолетних органов полукустарничков (если они имеются в сообществе); е) однолетние органы полукустарничков, отмершие до момента учета; ж) плоды и семена всех растений, развившиеся после момента учета; з) прирост мхов, лишайников и водорослей.

2. Прирост многолетних органов, в который включаются: а) прирост узлов кущения дерновинных злаков; б) прирост древесины полукустарничков (если они имеются в сообществе).

3. Прирост корней, в который включаются: а) подземная масса однолетних растений; б) прирост корней многолетних растений.

Все данные должны быть выражены в абсолютно сухом веществе в ц/га.

#### Учет опада

Исследователи, занимавшиеся вопросами биологического круговорота степных сообществ, принимали, что вся надземная часть степного травостоя поступает полностью в опад. Однако это допущение не вполне от-

вечает действительности, ибо в состав эдификаторов и доминант степных сообществ входят следующие группы растений.

а. Однолетние растения, вся надземная часть и корни которых ежегодно отмирают и поступают, таким образом, в опад.

б. Многолетние травянистые растения, вся надземная часть которых ежегодно отмирает и поступает в опад, а корни сохраняют длительную жизнеспособность (см. об этом у Зозулина, 1959), и ежегодно отмирает лишь часть, главным образом тонких, всасывающих корешков.<sup>33</sup>

в. Многолетние растения, у которых ежегодно отмирает и поступает в опад лишь часть надземных органов (листья, генеративные побеги), тогда как некоторая часть листьев сохраняется до весны. Кроме того, у дерновинных злаков (ковыли, типчак, белоус и др.) узлы кущения имеют продолжительность жизни несколько лет и отмирают лишь после образования генеративного побега (Персикова, 1958, 1959б); во многих случаях рядом с отмирающим узлом кущения возникает новый молодой узел. По-видимому, и корни этих злаков являются столь же долголетними, отмирая позднее соответствующего узла кущения.<sup>34</sup> Таким образом, в опад от дерновинных злаков ежегодно поступает, помимо названных листьев и генеративных побегов, еще и какая-то доля (в зависимости от длительности жизни, различной у разных видов; Персикова, 1958, 1859б) узлов кущения и соответствующих им корней, а также некоторая часть тонких всасывающих корешков.

г. Многолетние растения, у которых полностью отмирает надземная часть и поступает в опад, а подземные части в виде луковиц, клубней и корневищ сохраняются длительное время, и в опад поступают лишь тонкие всасывающие корешки и некоторая доля луковиц или корневищ.

д. Многолетние растения — монокарпики, у которых ежегодно отмирают вегетативные побеги (листья) и некоторая часть тонких корешков, а с образованием генеративного побега и после созревания семян отмирает все растение и в опад, следовательно, поступает вся надземная и подземная часть.

Таким образом, определение общей суммы годичного опада надземных частей растений и их подземных органов в степных сообществах представляется в достаточной степени сложной задачей, требующей внимания и точного знания морфологии, биологических особенностей и возраста эдификаторов и других растений.

Сбор опада. Степные сообщества, особенно в заповедных условиях, характеризуются накоплением огромного количества мертвых остатков, достигающих 95—100 ц/га<sup>35</sup> и превышающих в несколько раз вес живой, зеленой массы травостоя (Базилевич, 1958, 1962; Семенова-Тян-Шанская, 1960а, 1960б; в этих статьях приведены ссылки на ряд предшествующих исследователей). Путем четырехлетних наблюдений А. М. Семенова-Тян-Шанская (1960а, 1960б) установила, что накопление опада происходит за протяжении почти всего года, однако в разные сезоны оно идет с различной скоростью. Весной и в начале лета уходит в опад перезимовавшие побеги прошлого года (или какая-то их часть); позднее, в период

<sup>33</sup> У некоторых же растений происходит отмирание и значительной верхней части стержневого корня, как например у *Cirsium arvense* (Начский, 1916).

<sup>34</sup> Наблюдения и специальные опыты С. П. Смелова (1947) не подтвердили имеющееся в литературе мнение об отмирании с наступлением зимы корневой системы у побегов луговых злаков, прошедших цикл развития. К таким же выводам пришли Стоддарт (Stoddart, 1935) и Стакей (Stuckey, 1941).

<sup>35</sup> В составе мертвых остатков следует различать ветошь, т. е. еще стоящие на корне сухие отмершие стебли и листья растений, и подстилку, т. е. лежащий на земле уже измельченный и затронутый разложением слой мертвых остатков (Докучаев, 1892; Семенова-Тян-Шанская, 1960б). Некоторые исследователи различают в подстилке несколько слоев по степени разложения.

бурного развития травостоя, этот процесс замедляется; летом, с постепенным затормаживанием нарастания зеленой массы, начинается отмирание побегов генерации текущего года, усиливающееся к концу вегетационного периода. Степные сообщества при сенокосном использовании, так же как и при выпасном режиме, отличаются весовым преобладанием зеленой массы над мертвыми остатками в виде ветоши и подстилки.<sup>36</sup>

По существу изучение процессов опада в степных сообществах — это едва начатая разработкой тема, и здесь могут быть предложены лишь некоторые советы, как подойти к сбору опада.

Основная трудность состоит в том, что в густом травостое степи невозможно установить ящики с площадью 1 м<sup>2</sup> (подобно тому как это делается в лесу), не нарушая микрэкологических условий. Использование же маленьких приемных ящиков не даст нужного эффекта, так как длины стеблей злаков и разнотравья не поместятся в маленький ящик.

Следует испытать несколько приемов для сбора опада от надземной части травостоя.

**Расчистка учетных площадок.** Для сбора опада площадки по 1 м<sup>2</sup> следует огородить редкой металлической сеткой, чтобы предотвратить вынос опавшего материала ветром, а также не допустить приноса такого же материала со стороны, нередко издалека (например, кустиков перекати-полы). Ранней весной с площадок полностью удаляется вся подстилка, но ветошь остается. Далее на протяжении всего года, включительно до следующей весны, производится неоднократный сбор всех опавших на землю частей; собранный опад взвешивается по каждой площадке отдельно после высушивания при 105° (при больших количествах опада производится взвешивание в сыром состоянии, после чего тщательно отбирается средняя проба в трехкратной повторности для определения содержания влаги и последующего пересчета на абсолютно сухое вещество). Суммирование всех сборов даст годовое количество опада.

Надо иметь в виду, что удаление с поверхности почвы на учетных площадках подстилки, накопившейся за ряд предшествующих лет, может повести к резкому изменению условий существования травостоя, в первую очередь температурного режима и режима влажности, и вызвать преждевременное засыхание и отмирание растений или части их надземных органов. Поэтому таким способом можно получить несколько искаженные данные.

**Сбор опада без удаления подстилки.** Ранней весной с огороженных площадок выбирается вся ветошь, т. е. стоящие на корне прошлогодние отмершие части. Далее регулярно производится сбор с поверхности намеченных для наблюдений площадок всех свежеопавших частей, которые по внешнему виду отличаются от прошлогодних и более старых, образующих подстилку; в самом же конце вегетационного периода с учетных площадок следует убрать (срезать) все остальные, еще оставшиеся на месте, но отмершие побеги, не трогая зеленых и живых побегов, которые будут зимовать.

Таким образом, за один вегетационный период может быть учтен опад за год (осенним укосом мы убраем всю ту массу, которая должна поступить в подстилку к весне).

В обоих рекомендованных способах необходима десятикратная повторность. Желательно в целях взаимопроверки провести сборы опада одновременно обоими способами.

Для учета же доли опада от многолетних узлов кущения дерновинных злаков следует выбрать по несколько модельных дерновин различных

<sup>36</sup> В сухих и пустынных степях накопление ветоши и подстилки происходит в значительно меньшей степени, так как растения крошаются и уносятся ветром.

классов по размеру (а следовательно, и по возрасту)<sup>37</sup> и по ним установить процент отмерших в текущем году узлов кущения.

При обеспечении достаточной повторности в итоге можно получить близкие к действительности данные о количестве ежегодного опада этих многолетних органов. Суммирование величин опада, собранного на площадках и определенного по модельным дерновинам (с пересчетом и тех и других на 1 га), даст в итоге общее количество органического вещества годового опада.

Однако, как бы точно мы ни учили опад, действительное количество органического вещества, поступившего с опадом в почву, будет больше. Это объясняется тем, что отмирающие части растений лишаются определенных количеств органических и минеральных веществ, поступающих в корни (и в корневища, клубни, луковицы) и выщелачивающихся из отмерших стеблей, листьев и т. п., а также потребляются гетеротрофными организмами.

**Метод вычисления опада.** Исходя из сказанного выше, представляется возможным вычислить количество органического вещества, поступающего в опад в течение года, на основании полных данных об органической массе и ее структуре. Для этого необходимо суммировать следующие величины:

- а) органическую массу однолетних растений;
- б) органическую массу листьев и стеблей прошлогодней генерации (перезимовавших) у многолетних растений;
- в) органическую массу генеративных побегов, выросших и отмерших в текущем году у злаков;
- г) органическую массу листьев и вегетативных и генеративных побегов, отмирающих в текущем году (не остающихся зимовать), у многолетних растений;
- д) органическую массу плодов и семян текущей генерации всех растений.

Совершенно естественно, что правильное вычисление этой величины полностью зависит от точного знания биологических особенностей растений, создающих основную массу органического вещества (т. е. тех растений, которые накапливают более 10% общего его количества в изучаемом сообществе).

Помимо опада листовых и стеблевых органов, следует учитывать и семена, и плоды, которые, попадая в почву, часто ускользают от внимания и не включаются в опад. Количество же семян может быть очень велико. Например, в Стрелецкой степи за сезон опадает на землю до 20 000 штук на 1 м<sup>2</sup>, т. е. до 20 млн штук на 1 га (Каменецкая, 1952). Велико количество семян и в пустынях (см.: Нечаева, 1954; Родин и Суховерко, 1956). К сожалению, у нас нет весовых данных об этих огромных запасах органического вещества, заключенных в семенах. Известно, что огромное количество семян остается в почве и минерализуется там, не давая всходов, так же как минерализуется большое количество всходов, гибнущих на ранних стадиях развития.

<sup>37</sup> З. И. Перспикова (1958, 1959а) разработала метод определения возраста дерновинных злаков. Для *Stipa stenophylla* возраст (A) определяется по эмпирической формуле

$$A = 6 + \frac{D - 1.5}{0.9},$$

где D — максимальный диаметр дерновины (в см); 1.5 см — прирост за 6 лет вегетационной жизни (этот вид ковыля вступает в генеративную стадию в среднем на 7—8-м году жизни); 0.9 — годичный прирост дерновины. Для других видов произрастания и для других видов эта формула меняется, так как в нее подставляются другие числовые величины.

Опад мхов и лишайников подлежит изучению. Можно условно принимать опад мхов равным 70% годичного их прироста, а опад лишайников равным их годичному приросту.

Учет опада корней. Отмирание корней у однолетних растений происходит одновременно с отмиранием их надземных органов, и, таким образом, в опад поступает вся накопленная ими органическая масса.

Особые трудности встречаются при определении количества поступающих в опад корней («корнепад») у многолетних растений.

У дерновинных злаков, например, обычно в текущем году отмирают корни, принадлежащие узлу кущения, образовавшему генеративный побег.<sup>38</sup> Вычислив отдельно запас корней этих злаков и получив данные о доле (%) ежегодно отмирающих их узлов кущения, можно вычислить величину «корнепада». Наряду с этим происходит отмирание части тонких всасывающих, существующих лишь один вегетационный период корешков, принадлежащих живым узлам кущения. Однако вопрос этот остается и сейчас не выясненным, и исследователи, занимавшиеся проблемами биологического круговорота, условно принимали, что у многолетних злаков и травянистых растений в опад поступает  $\frac{1}{3}$  запаса корней (Тюрин, 1946; Базилевич, 1955, 1958, 1962; Базилевич и Родин, 1956; Першина и Яковleva, 1960).

Специальные наблюдения И. В. Борисовой в степях Центрального Казахстана (устное сообщение) позволяют ей считать продолжительность жизни корней степных злаков 3—4 года. По наблюдениям Стоддарта (Stoddart, 1935) над степными злаками США (*Stipa sparteae*, *Andropogon furcatus*, *Panicum virgatum*, *Sporobolus* sp. и др.), корни их могут жить до двух лет.

Продолжительность жизни корней у степных растений изучалась Уивером и Цинком (Weaver a. Zink, 1946). У молодых растений после одного года вегетации отмирало от 10 до 45% корней; у взрослых же особей — от 23 до 45%, а у *Stipa sparteae* — 57%. Растения, подвергающиеся пятикратному скашиванию, теряют от 45 до 65% корней, тогда как контрольные потеряли только 3%.

На Памире у ковыля галечного (*Stipa glareosa*) живые корни составляют от 10 до 25% общей их массы (Стешенко, 1952). У *Deschampsia caespitosa* корни отмирают на материнском побеге на 4-м году, а придаточные — на 3—4-м году их собственной жизни: у *Nardus stricta* главный корень отмирает на 4-м году, а придаточные корни, отходящие от бокового корневища, — на 5—6-м году (Персикова, 1959а, 1959б). У мятлика же (*Poa bulbosa* var. *vivipara*) корни полностью отмирают ежегодно (Климова, 1958).

Таким образом, принимавшаяся исследователями величина опада ( $\frac{1}{3}$  от общей суммы корней) не была чересчур ошибочной.

Бесьма важно постоянное внимание к этому вопросу, и желательна постановка специальных исследований длительности жизни корней (это относится не только к злакам, но и ко всем другим травянистым растениям), ибо она различна на разных стадиях развития растений и зависит от их возраста.

Во всех случаях учета надземной массы, прироста и опада следует составить схему структуры травостоя и опада с указанием веса отдельных эдификаторных и господствующих видов. Эти данные потребуются впоследствии для построения баланса биологического круговорота химических элементов данного сообщества.

<sup>38</sup> Корни иногда продолжают жить еще некоторое время. У разных видов это происходит по-своему и необходимо каждый раз это установить наблюдениями.

Ввиду сложности и дороговизны химических анализов растений практически можно отбросить виды, занимающие по весу менее 5—10% в травостое, за исключением случаев, когда мы сталкиваемся с наличием растений, резко отличных по своему химизму (например, галофильные моревые, свинчатковые и др.).

Вес растений, занимающих менее 5—10%, показывается суммарно по группам («другие злаки», «другие бобовые», «остальное разнотравье» и т. п.).

## УЧЕТ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ В СООБЩЕСТВАХ ПУСТЫН

### Выбор пробной площади

В связи с обычной разреженностью растительности в пустынных сообществах выбираемый для учета участок должен иметь площадь, достаточную для закладки постоянного трансекта необходимой длины (от 150 до 500 м) и для производства вне его необходимых наблюдений, дополнительных обмеров, почвенных раскопок, сбора образцов и т. п. В случае значительной неоднородности или комплексности растительного покрова может потребоваться закладка нескольких трансектов. Выбор и описание участка производится по общепринятым указаниям (Юнатов, 1964; Методика..., 1938).

### Учет фитомассы

Для определения общего количества органической массы в пустынных сообществах, как правило, необходимо провести в разные годы несколько учетов, так как однократный учет недостаточен в связи со значительными колебаниями в пустынях водно-теплового режима. В связи с последним многие растения, в особенности эфемероиды и эфемеры, в благоприятные годы могут продуцировать фитомассу, в несколько раз превышающую продукцию «средних» лет (Никитин, Полковников, 1955). В засушливые же годы эфемероиды почти не трогаются в рост, а эфемеры покоятся в виде семян. На протяжении года также желательно проведение учетов органической массы в разные сезоны вегетационного периода.

Учеты следует приурочивать к срокам максимального развития основных эдификаторных синузий, поставляющих преобладающую массу органического вещества. Может быть намечено по крайней мере три срока, к которым следует приурочить учеты (календарные сроки будут сдвигаться в соответствии с конкретным районом). Весна, вторая половина, — максимум развития эфемеров (видов *Malcolmia*, *Isatis*, *Senecio*, *Matricaria*, *Eremopyrum*, *Hordeum* и др.), эфемероидов (*Carex pachystylis*, *C. physodes*, *Poa bulbosa* var. *vivipara*, *Ferula*, *Dorema*, *Tulipa*, *Rheum turkestanicum* и др.), некоторых полукустарников (*Calligonum caput Medusae*, *C. setosum*, *C. leucocladum* и др.) и немногих полукустарничков (*Astragalus unifoliolatus*, *A. paucijugus*, *A. ammodendron*). Лето — максимум развития крупных полукустарников (*Haloxylon aphyllum*, *H. persicum*, видов *Tamarix*, *Salsola Richteri*, *S. subaphylla* и др.), полукустарничков (*Salsola arbuscula*, *S. dendroides*, *S. rigida* и др., видов *Reamuria*), многолетних трав (*Stipa Szwertsiana*, *Agropyrum sibiricum*, *Aristida Karelinskii*, *A. minor*, *Aeluropus litoralis*, *Convolvulus divaricatus*, *Heliotropium arguzoides*, *Cousinia bipinnata*) и поздних однолетников (*Ceratocarpus utricularius*, видов *Agriophyllum* и *Horaninovia*, *Girgensohnia oppositiflora* и др.). Осень — максимум развития многих полукустарничков (видов *Anabasis* и *Artemisia*, *Salsola gemmascens*, *Halocnemum strobli*).

*laceum* и др.), некоторых многолетних трав (видов *Alhagi*, *Glycyrrhiza glabra*, *Artemisia scopariiformis*), осенних однолетников (видов *Salsola*, *Halimocnemis*, *Gamanthus*, *Halocharis* и др.) и некоторых полукустарников (видов *Ephedra* и *Tamarix*, сохраняющих полную облиственность и в этот сезон).

При проведении стационарных наблюдений важным является учет всходов эфемеров, часто появляющихся уже с осени (Нечаева, 1957а; Маркова, 1966). Это же относится и к эфемероидам. И те и другие в некоторые годы достигают взрослого состояния и зацветают еще зимой (Никитин, 1952; Родин, 1961) и к моменту первых весенних наблюдений могут даже выпасть из сообщества и, таким образом, окажутся вне учета.

**Метод трансекта.** Наиболее надежным, широко распространенным и оправдавшим себя на практике является метод трансекта (Нечаева, 1957а).

На выбранном для исследований участке протягивается мерная лента или шнур, размеченный на метры (для удобства полезно отметить их лоскутками разных цветов, например каждый 10-й метр — красным, каждый 5-й — синим, а остальные — белым). Длина трансекта лежит в пределах от 100 до 500 м, а иногда и более. Параллельно мерной ленте протягивается обычный шнур (или шпагат) на расстоянии 1, 2 или 4 м, в зависимости от размеров площади, намеченной к учету. Основываясь на многочисленных опытах, рекомендуем длину трансекта в пустынных травянистых (эфемеровых) и полукустарничковых сообществах от 100 до 200 м при ширине 2 м (с тем чтобы площадь учета была 200—400 м<sup>2</sup>); в полукустарниковых (саксауловых, джузгуновых и т. п.) сообществах, в условиях резко выраженного мезорельефа (гряды с котловинами в песках), длину трансекта следует увеличить до 400—500 м, а ширину — до 4 м, чтобы площадь учета была не менее 1600 м<sup>2</sup> и на ней оказалось достаточно для статистической обработки число экземпляров основных эдификаторов и доминант.

В случае более или менее однородного покрова по всему трансекту можно сразу же приступить к учету. При наличии на трансекте различных по структуре растительного покрова участков, прежде чем приступить к учету растительности, необходимо определить площадь этих различных участков (удобно это сделать на схематическом плане трансекта, нанесенном на миллиметровой бумаге), а затем вычислить их долю в процентах от всей площади трансекта.

После этого можно переходить к учету фитомассы растительности отдельно в каждом из выделенных типов участков таким же образом, как это делается на однородных в отношении растительного покрова трансектах. Затем полученные данные учетов перечисляются сначала на площадь трансекта, а затем на 1 га. Приведем пример расчета.

Площадь трансекта 100 м<sup>2</sup>, в том числе:

полыни (20 м <sup>2</sup> )	
вес листьев и однолетних побегов кустов полыни всех размеров	0.05 ц;
вес многолетних надземных органов кустов полыни	0.10 ц;
участки эфемеров (50 м <sup>2</sup> )	
вес надземной части эфемеров	0.05 ц,
участки без высших растений (30 м <sup>2</sup> )	

Следовательно, на всей площади трансекта (100 м<sup>2</sup>) вес надземной фитомассы полыни — 0.15 ц, вес эфемеров — 0.05 ц. В пересчете на 1 га это даст 15 ц/га фитомассы полыни и 5 ц/га фитомассы эфемеров.

**Учет фитомассы полукустарников и полукустарничков.** Учет производится следующим образом. Подсчитываются и измеряются все экземпляры полукустарников и полукустарничков (разумеется, по видам!). Измерению подлежит только диаметр кустов (при общей тенденции к при-

нятию шаровидной формы высота кустов очень хорошо коррелирует с их диаметром; обычно измеряют куст в двух направлениях — большего и меньшего диаметра — и берут среднее из этих измерений).

В целях удобства для последующей работы полезно на основе нескольких десятков измерений установить классы размерности кустов, например: до 5 см, 6—15 см, 16—30 см и более 30 см. Запись обмеряемых кустов удобно производить в графе для каждого из классов размерности. Учет полукустарничков идет достаточно быстро при работе двух лиц: один измеряет, второй записывает. Желательно, чтобы для каждого класса размерности было обмерено не менее 100 кустов. Если растений какого-либо из классов размерности на трансекте окажется менее 100, то, проходя черту в соответствующей графе, чтобы подсчитать число наличных растений на трансекте, полезно продолжать обмеры еще некоторого количества таких же растений за пределами трансекта, чтобы довести число измерений до 100.<sup>39</sup>

После учета полукустарников или полукустарничков здесь же в поле вычисляется средний куст (по видам) для каждого класса размерности принятым в лесной таксации способом среднего арифметического от суммы площадей проекции кустов.

Далее задача состоит в том, чтобы подобрать на трансекте (а если трансект постоянный и служит для динамических наблюдений, то вне его, но в аналогичных условиях) исчисленные модели в количестве 10 штук для каждого класса (обычно бывает трудно подыскать модели крупных размеров), с которыми и производятся все последующие операции.

Выбранные для учета модельные кусты полукустарников и полукустарничков срубают (или срезывают) до корневой шейки, раскладываются на брезенте (по выделенным классам размеров). Далее отделяют структурные элементы надземной части.

У полукустарников и полукустарничков различаются следующие структурные элементы органической массы:

1) многолетние надземные части — стволики и одревесневшие ветви, не подвергающиеся ежегодному опаду;

2) однолетние надземные части: а) ассимилирующие побеги (листья или выполняющие их функции зеленые побеги);<sup>40</sup> б) ростовые побеги (часть их у полукустарников отмирает, а остальные сохраняются и становятся многолетними); в) генеративные побеги.

Социспанные с модельных экземпляров листья и однолетние побеги раздельно взвешиваются в сыром состоянии; далее тщательно отбираются средние пробы весом до 0.5 кг, которые также взвешиваются и укладываются в бязевые мешочки и впоследствии высушиваются на воздухе и окончательно в лаборатории при 105°. Затем устанавливается процент потери влаги и вычисляется количество сухого вещества всех однолетних частей в сообществе.<sup>41</sup>

Далее взвешиваются все многолетние одревесневшие части модельных кустов, и от них также отбирается средняя проба, куда пропорци-

<sup>39</sup> В практике многочисленных учетов оказывалось достаточным 100 измерений кустов каждого класса, чтобы вычислить средний модельный куст. Большине количества измерений существенно не изменяло размеры модели, основанной на 100 промерах. Поэтому после 100 промеров в классе далее в соответствующей графе учитывается лишь количество кустов, произрастающих в пределах трансекты. Общее количество кустов каждого класса размерности необходимо для всех последующих расчетов.

<sup>40</sup> Продолжительность жизни ассимилирующих органов у пустынных растений весьма различна: часть видов сбрасывает их с наступлением жаркого периода, другие сохраняют их до конца вегетации, и, наконец, имеются виды, у которых наряду с опаданием старых листьев происходит появление новых (Ротов, 1955).

<sup>41</sup> Для установления содержания воды в листьях и других органах растений в условиях сухого воздуха пустыни следует брать особые павески свежих листьев в металлические или стеклянные бюксы.

онально на глаз должны быть взяты части стволов (стволиков) и разнойтолщины ветви; проба весом до 0,5 кг также взвешивается в сыром состоянии и впоследствии досушивается на воздухе и при 105°, и также вычисляется количество абсолютно сухой органической массы, содержащейся в многолетних частях растений. Материал всех проб после досушивания послужит для химических анализов.

Далее полученные веса органической массы модельных кустов каждого вида по структурным элементам умножают на число кустов соответствующего класса размерности площади трансекта. После этого делаются пересчеты на 1 га.

Следует указать, что запасы древесины в саксаульниках могут быть определены также по таблицам, разработанным М. В. Гудочкиным (1955) для казахстанских насаждений саксаула. Для получения соответствующих величин необходимо установление в поле средних высот и средних диаметров деревьев саксаула.

В настоящее время находится в печати статья К. Г. Антоновой, в которой приведены таблицы для определения всей зеленой массы некоторых полукустарников-псаммофитов, построенные на корреляции размеров кустов и запаса их ассимиляционных, ростовых и генеративных побегов (суммарного).

Учет фитомассы трав. Для учета фитомассы травяного покрова закладываются в разных местах на трансекте (или вне его) не менее 3 площадок по 1 м<sup>2</sup>, на которых и производятся все необходимые измерения и учеты (учет фитомассы трав, мхов, лишайников, взятие монолитов для учета корней трав и др.).

У дерновинных злаков выделяются многолетние надземные части (к ним относятся узлы кущения, или парциальные кусты, по Серебрякову, 1952), не образовавшие в текущем году генеративного побега,<sup>42</sup> и однолетние надземные части.

Расчеты фитомассы трав проводятся не на всю площадь трансекта, а лишь на ту площадь, которая занята травяным покровом.

Учет фитомассы лишайников. Нередко в пустынных сообществах значительную роль по массе органического вещества играют кочующие и прикрепленные лишайники и мхи.

На лишайниковых такырах в юго-западной Туркмении количество органического вещества лишайников составляет до 10 ц/га; в лишайниковых (*Lecanora desertorum* s. l.) пустынях Сирии это количество достигает 15 ц/га.

В связи с тем что кочующие лишайники, как правило, заключают внутри таллома минеральные частицы (обломки щебня, крупные песчинки, комочки почвы), чрезвычайноочно скрепленные с талломом лишайника, прямое определение количества органического вещества невозможно.<sup>43</sup> Рекомендуется следующий косвенный метод, испытанный В. В. Попомаревой.

Наиболее надежным способом определения фитомассы указанных организмов является учет содержания в них органического углерода, т. е. по тому же принципу, по которому производится определение в почвах

<sup>42</sup> См. выше, стр. 28—29, где говорится о многолетних надземных частях у степных злаков. В пустынных сообществах особое внимание потребуется уделить мятылику — *Poa bulbosa* var. *virens*.

<sup>43</sup> В Ботаническом институте им. В. Л. Комарова АН СССР и в Почвенном институте им. В. В. Докучаева были предприняты неоднократные попытки отделить органическое вещество лишайников от минерального ядра с помощью центрифугирования, отмычки в тяжелых жидкостях и другими способами. В итоге всегда получалась масса с большим содержанием минеральных примесей. Необходима дальнейшая разработка методов очистки лишайников от минеральных примесей.

гумуса. Следует только учитывать, что в почвенном гумусе содержание органического углерода принято считать равным 58% (в действительности оно колеблется в различных географических условиях от 50 до 60%), в растительных же остатках среднее содержание углерода примерно равно 45% от веса сухой и беззольной органической массы.

Техника определения фитомассы по содержанию органического углерода сводится к следующему. Весь образец или взятая из него средняя проба растирается в фарфоровой ступке и пропускается через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. Растирый в порошок образец хорошо перемешивается, и в нем определяется содержание органического углерода бихроматным методом по Тюрину (1937) не менее чем в двух повторностях. Полученное содержание органического углерода умножается на коэффициент 2,22. Исходя из содержания органического вещества в образце и из веса данного образца на определенную площадь вычисляют вес фитомассы.

Для определения фитомассы лишайников закладывается несколько учетных площадок по 1 м<sup>2</sup> (или большее число площадок по 0,5 или 0,25 м<sup>2</sup>), с которых тщательно собираются все кочующие лишайники (обычно удается здесь же в поле разобрать их по видам или хотя бы по родам). Производится взвешивание материала по площадкам. Затем особо тщательно отбирается средняя проба весом до 2—3 кг, которая впоследствии высушивается при 105°, после чего может быть взята навеска для определения количества органического вещества указанным выше способом. На основании этих данных могут быть произведены соответствующие пересчеты на 1 га.

Определение массы кустистых и других прикрепленных лишайников не требует особых пояснений. Можно лишь отметить, что сбор их желательно производить во влажную погоду, так как в сухом состоянии они очень легко крошатся почти в порошок.

Учет фитомассы пустынных мхов. Определение фитомассы пустынных мхов, например *Tortula desertorum*, представляет большие технические трудности, так как нижняя часть стебельков мха обычно как бы «спаяна» в почву (в тонкий ее поверхности горизонт). Не имея опыта количественного учета органической массы мхов, можно лишь предполагать, что лучшим способом окажется предварительное просеивание через густое сито и последующая осторожная отмычка от субстрата на густом сите образцов, собранных с учетных площадок, с дальнейшим высушиванием. По всей вероятности, как и в случае с кочующими лишайниками, в отмытых образцах окажется также некоторое количество минеральных частиц; таким образом, и здесь потребуется применение того же косвенного метода для определения органической массы.

Определение количества органической массы мхов в сообществах пустынь представляет особый интерес, так как до сих пор подобные учеты не производились. Между тем в ряде пустынь (Заунгурские Кара-Кумы, Кызыл-Кумы, некоторые районы Устюрта) моховая синузия бывает развита в столь высокой мере, что аборигены даже дали этим местам особое название — «кара-харсанг» (что означает «черный мох»). Расчеты фитомассы мхов и лишайников проводятся также в соответствии с занимаемой ими площадью на трансекте с последующим пересчетом на 1 га.

Учет фитомассы почвенных водорослей.<sup>44</sup> Известно, что в состав эдафона (Francé, 1911, 1912, 1921) входят различные биоценозы почвы, в том числе ценозы и синузии водорослей, которые принимают участие в круговороте веществ в почве. Роль водорослей в жизни биогеоценозов еще мало изучена, хотя, по имеющимся литературным данным, она до-

<sup>44</sup> Составлено Л. И. Новиковой-Ивановой.

вольно значительна. В настоящее время совершенно окончательно выяснена способность синезеленых фиксировать атмосферный азот; некоторые зеленые водоросли при массовом развитии выделяют биос и стимулируют этим деятельность азотфиксирующих бактерий; водоросли, активно поглощая легко растворимые соли, предотвращают их вымывание; кислород, выделяемый почвенными водорослями в процессе фотосинтеза, способствует аэрации почв, особенно заболоченных; водоросли предохраняют почву от эрозии; наконец, одним из важнейших результатов жизнедеятельности водорослей является органическое вещество, поступающее в почву после автолиза водорослей (см. сводки: Голлербах, 1946, 1953; Рассель, 1955). Ниже мы приводим некоторые данные о массе водорослей в почвах (в кг/га).

Дерново-подзолистые . . . . .	40—500 (Штина, 1957)
Торфяно-болотные . . . . .	20—80 (Штина, 1961)
Темно-каштановые . . . . .	160—600 То же
Солонцы . . . . .	74—515 » »
Бурые лесные . . . . .	3.6—7.5 (Новичкова-Иванова, неопубл. данные)
Такыры и такыровидные . . . . .	500 (до 1400) (Голлербах, Но- вичкова, Сдобникова, 1956).

Определение количества органического вещества почвенных водорослей представляет еще большие трудности, чем лишайников и мхов, в связи с тем что частицы тонкого мелкозема особенно прочно скрепляются с их слоевицами. Поэтому и здесь приходится прибегать к вышеописанному косвенному методу. Однако Л. Н. Новичковой-Ивановой разработаны и прямые методы количественного учета почвенных водорослей, состоящие в следующем.

1. Образцы почвы как для выявления флористического состава, так и для определения массы водорослей собираются в стерильные пакеты из плотной непроклеенной бумаги стерильным инструментом, причем сборы, предназначенные для определения количества клеток или фитомассы, берутся с определенной площади и на определенную глубину (например, с 10 см<sup>2</sup> толщиной в 2 см). Количество повторностей обусловливается степенью неоднородности ассоциаций и их размером.

В данный момент нет надежного метода для подсчета числа клеток почвенных водорослей, одинаково удобного для одноклеточных, колониальных и нитчатых форм (Wilson a. Westgate, 1943; Lagercrant, 1948; Olson, 1950; Lund, 1951; Kuijlaars, 1953; Lochhead a. Burton, 1955).

Водоросли рассеяны по всему почвенному профилю, однако наиболее насыщенными водорослями являются верхние горизонты (A<sub>0</sub>—A). При диффузном распределении водорослей применяется наиболее распространенный среди почвенных альгологов метод количественного учета по числу клеток С. Н. Виноградского в видоизменении Э. А. Штина (Штина, 1956; Голлербах и Зауэр, 1959), состоящий из предварительного отделения крупных минеральных частиц почвы от более мелких и тонких при помощи трехкратного взбалтывания навески (1 г почв в 4, 3 и еще раз 3 мл воды) и соответственно последовательного минутного, а затем два раза полуминутного отстаивания. Суспензия, получаемая после слипания, центрифугируется в течение 1 мин. при 500 оборотах либо в течение 2 мин. на ручной центрифуге. Полученный осадок доводится до определенного объема (например, до 10 мл) водой, взбалтывается и используется для приготовления препарата. Определяется число капель в 1 мм (например, 20 капель), на счетной пластинке просчитывается под микроскопом 1 капля суспензии. Если при подсчете просчитывается каждая 3-я полоска счетной пластинки, то количество водорослей (*N*) в 1 г получается

от умножения числа клеток, обнаруженных при просмотре препарата (*n*), по формуле

$$N = n \times 3 \times 20 \times 10.$$

В среднем в 1 г почвы обычно насчитывается 100—200 тыс. клеток; некоторые почвы содержат во влажные сезоны до нескольких миллионов клеток. При просмотре капли, измеряя размер встречающихся клеток и нитей, можно, применив формулы объема цилиндра и шара, вычислить объем клеток водорослей в 1 г почвы<sup>45</sup> и далее пересчитать этот объем-вес на площадь.

Если *q* — вес водорослей в 1 г почвы, *v<sub>n</sub>* — объем почвы в см<sup>3</sup>, *γ<sub>n</sub>* — удельный вес почвы в г/см<sup>3</sup>, то вес водорослей (*G*) в данном объеме определяется по формуле

$$G = v_n \times \gamma_n \times q.$$

Например, если в 1 г почвы было обнаружено 8 500 000 мк<sup>3</sup> водорослей, то, пересчитывая мк<sup>3</sup> в см<sup>3</sup>, имеем: 8.5 × 10<sup>-6</sup> см<sup>3</sup>,<sup>46</sup> или г (принимая удельный вес водорослей за 1).

Если считать площадь равной 1 га и толщину слоя почвы 1 см, то объем почвы будет равен: *v<sub>n</sub>* = *f* · *h* = 100 × 100 × 0.01 = 10<sup>8</sup> см<sup>3</sup>, где *f* — площадь, *h* — глубина почвы. Подставляя полученные данные в исходную формулу, при *γ<sub>n</sub>* = 1.7 получаем:

$$G = 10^8 \times 1.7 \times 8.5 \times 10^{-6} = 1445 \text{ г} = 1.45 \text{ кг.}$$

Поскольку водоросли наиболее интенсивно развиваются в пределах верхних сантиметров почвы, расчет следует вести на глубину 2—5 см.

2. При массовом разрастании водорослевых пленок на поверхности почвы (например, на такырах) или наличии в верхних миллиметрах почвы водорослевого войлока вышеуказанный метод счета клеток применить невозможно. В данном случае необходимо применить одну из тяжелых жидкостей (Лейн, 1940; Лагунова, 1952). Навеска с определенной площади, предварительно растертая в ступке, помещалась в смесь бромом-форма с ксилолом (1:3), водоросли механически отделялись от минеральных частиц при центрифугировании 2—3 тыс. оборотов/мин. в упомянутой жидкости. Верхняя часть суспензии представляла органическую часть, в которой после отделения крупных частиц органического характера (обломки семян, кусочки опада, тельца насекомых и т. п.) оставался лишь водорослевый войлок с включенными крупинками минералов в слизистые покровы нитей и жгутов водорослей. Поправку на минеральную часть можно получить путем сжигания (см.: В. В. Пономарева, 1956; в изученных нами образцах с такыров Туркмении она составляла около 1—2%).

Вполне очевидно, что получаемые результаты при всей трудоемкости обработки носят достаточно большой элемент относительности. В связи с этим можно упомянуть ряд новых исследований по проблеме количественного учета, строящихся на совершенно иных принципах. Разрабатывается методика счета клеток и определения их объема с использованием флуоресцентной микроскопии (Lagercrant, 1948; Горюнова, 1952; Tchan, 1952; Diller a. Kersten, 1954; Сейферт, 1958). Кроме того, используется свечение хлорофилла в ультрафиолетовых лучах подобно методу количественного анализа экстракта пигментов (Tucker, 1949; Gorham, 1959; Nelson, 1960).

<sup>45</sup> В гидробиологии вычисляют осредненный объем, считая, что объем каждой водорослевой клетки равен шару с радиусом 10 мк.

<sup>46</sup> 1 мк = 0.0001 см; 1 мк<sup>3</sup> = 0.000 000 000 001 см<sup>3</sup> = 1 × 10<sup>-12</sup> см<sup>3</sup>.

Кроме того, количество органического вещества водорослей может быть определено косвенным методом В. В. Пономаревой (см. выше, стр. 41).

Учет корней. Учет корней полукустарников и полукустарничков. Учет количества корней следует производить в основном по методу, изложенному М. С. Шалытом (1960). Некоторые исследователи (Базилевич и Родин, 1956) применяли его с отклонением, приблизив к тому методу учета корневых масс, который изложен в разделе о лесах (стр. 14—16).

Для определения размеров площади, с которой требуется извлечь корни, вычисляется средняя площадь питания кустов того или иного вида по классам размеров. Для этого величина площади трансекта (в м<sup>2</sup>) делится на несколько частей (по числу классов), пропорционально доле, приходящейся на каждый класс того или иного вида (исходя из суммы квадратов диаметров растений). Полученные величины площади (в м<sup>2</sup>) делятся на число кустов соответствующих классов; таким образом устанавливается средняя площадь питания особи данного класса размера каждого вида. Затем подыскиваются в натуре (но обязательно вне постоянного трансекта, чтобы не нарушать его растительности, над которой продолжаются необходимые по программе наблюдения) не менее чем по 3 средних (т. е. модельных) куста для каждого класса размера и вокруг них очерчивается круг радиусом, вычисленным соответственно площади питания растения данного класса. С этой площади и извлекаются корни на заданную глубину общепринятым методом монолитов. При небольшой площади питания может быть взята площадка квадратной формы (это технически удобнее для соблюдения точности кубатуры, а результаты в обоих случаях очень близки). При большой площади питания, с радиусом в 3—4 м и более, можно ограничиться изъятием для отмыки сектора, равного  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{5}$  площади.

В связи с тем что в условиях пустыни всегда встречаются большие трудности с получением достаточных количеств воды, обеспечивающих отмыку всего объема почвы, извлекаемой с площади питания, может быть рекомендован следующий способ: почва, извлеченная из соответствующего генетического (или по интервалам глубины) горизонта высывается на брезент. Из нее вручную или с помощью миниатюрных грабелек (легко приобретаемых в магазинах садово-огородного инвентаря или изготавляемых на месте) отбираются все доступные к извлечению корни. Остающаяся масса почвы, уже отчасти перемешанная, еще раз перемешивается, и из нее берется средняя проба определенного объема (в см<sup>3</sup>), которая впоследствии и отмывается на густом сите. После определения объема почвы всего извлеченного горизонта (во взрыхленном на брезенте состоянии) впоследствии производится соответствующий пересчет.<sup>47</sup> Естественно, что отобранные вручную корни также должны быть отмыты от минеральных примесей. Стержневой корень с отделенными боковыми корнями (кроме тех, что вошли в извлекаемый объем почвы, если берется для учета не полная площадь питания) также извлекается, и после отмыки его вес прибавляется к весу корней на всей площади питания.

Корневые массы, принадлежащие мелким полукустарничкам, учитываются таким же методом, т. е. для их модельных кустов также вычисляется площадь питания, но для исходного расчета берется не вся площадь

<sup>47</sup> При отсутствии тарированной емкости могут быть использованы любые подручные предметы: ведро, котелок, небольшой ящик и т. п. Надо лишь перемерить этой емкостью всю почву и прибавить количество, взятое для отмыки. Посредством умножения будет исчислено количество корней во всем учитываемом горизонте.

трансекта, а его часть, за вычетом площади, приходящейся на площадь проекций крон крупнорослых кустов (саксаула, кандыков, гребенщиков).

Учет корней травянистых растений. Для учета корней мелких травянистых растений (мятлика, эфемеров, однолетних солянок и др.) берутся в достаточной повторности монолиты площадью 0,25 м<sup>2</sup> (или иного размера, например 20×20 см, 25×25 см, 50×50 см и т. п.). Общее количество корней, приходящееся на эти растения, далее вычисляется на 1 га исходя из площади, покрываемой этими растениями в данном сообществе. Во всех случаях следует брать образцы для определения содержания влаги, или же высушивается при 105° вся масса корней, извлеченных из монолита. Окончательные результаты исчисляются в абсолютно сухом веществе на 1 га.

Как уже говорилось в разделе о стелих, луковицах, клубни, корневища учитываются особо, но включаются в общую сумму органического вещества подземных частей сообщества.

### Учет прироста

Определение прироста органической массы в пустынных сообществах имеет свои трудности, уже отмеченные в разделе об учете фитомассы. При учете прироста в особой степени необходимо выявить все жизненные формы растений, имеющие свою сезонную ритмику, с тем чтобы не пропустить время учета максимального накопления ими органического вещества и учесть при суммировании величин прироста. Однократный учет никогда (кроме случаев с одновидовыми сообществами; например, чистый сарсазанник на мокром солончаке) не дает правильных данных о величинах прироста. Прирост пустынного сообщества в целом будет слагаться из величин прироста каждой из эдификаторных синузий и популяций эдификаторных или доминантных видов.

Учет прироста надземной фитомассы полукустарников и полукустарничков. Наиболее существенная роль в строении пустынных сообществ принадлежит полукустарникам и полукустарничкам. Определяемое с учетом надземной фитомассы количество однолетних побегов полукустарников и полукустарничков в период максимального развития составит величину прироста этих органов. К этой величине следует прибавить то количество отмерших органов, которое будет выявлено за период до учета стационарными наблюдениями при сборе опада в ящики или учтенное иными способами (см. ниже, стр. 47—50): листья, ассимилирующие побеги, неоплодотворенные завязи, недоразвившиеся плоды. Кроме того, в сумму прироста однолетних надземных органов следует включить также величину органической массы зрелых плодов и семян; если они не достигнут стадии зрелости к моменту учета, их следует учсть особо, используя, например, способ, рекомендованный для лесных кустарничков (см. стр. 23—24).

Таким путем будут получены данные количественной оценки прироста однолетних (зеленых) частей полукустарничков и полукустарников.

Что же касается определения полного прироста (т. е. прироста однолетних органов, многолетних и корней) у пустынных полукустарников и полукустарничков, то таких специальных работ пока не проводилось. Только в недавнее время осуществлены исследования по установлению возраста некоторых видов пустынных, в особенности высокогорных, полукустарничков и изложены соответствующие методы (Стешенко, 1960).

Опираясь на возможность определения возраста полукустарничков, можно попытаться подойти к вычислению полного годичного прироста следующим способом.

1) Определить возраст модельных кустов, выбранных по дробным классам размеров, на изучаемом трансекте и установить классы возрастов, соподчиняя их с классами размеров (для этого используются те же модельные кусты, которые были взяты для учета фитомассы, но потребуются и новые для повышения точности данных).

2) Общеплатить листья и однолетние побеги и определить вес многолетней, одревесневшей части у всех модельных кустов.

3) Составить таблицу весов многолетних частей по установленным классам возрастов. Таким образом будет получен средний вес кустов для каждого класса возраста.

4) Вычесть из веса растений II класса вес растений I класса и разницу разделить на число лет в интервале между этими классами. Полученная величина может быть условно принята за средний годичный прирост древесины в соответствующем возрастном пределе. Точно так же следует вычислить эти величины для всех возрастов (т. е. брать вес III класса, вычитать от него вес II класса, из веса IV класса вычитать вес III класса и т. д.).

Имея (на основе перечета всех кустов на трансекте) данные о количестве кустов по классам размеров (или возрастов), следует вычислить средний годичный прирост многолетней, одревесневшей части полукустарников во всем сообществе на 1 га.

**Учет прироста корней полукустарников и полукустарничков.** Определение прироста корней у растений пустынь — очень трудная задача, так как мы не располагаем надлежащими материалами.

Естественно, что для определения прироста корней необходима постановка специальных наблюдений над растениями (возраст которых известен) на протяжении ряда лет с ежегодными определениями веса органического вещества корней у определенного числа модельных экземпляров. В результате достаточно продолжительных наблюдений и при наличии большого числа учитываемых экземпляров смогут быть получены надежные данные. Даже краткие, в интервале одного года, наблюдения уже дадут некоторый фактический материал, пригодный для ориентировочных суждений. Можно, однако, попытаться получить приближенные данные о приросте корней и непосредственно в поле при однократном исследовании. Для этого следует применить тот же способ, который рекомендован выше для определения годичного прироста надземной многолетней массы полукустарников и полукустарничков. Однако в данном случае (определение прироста корней) предстоит огромная по трудоемкости работа по отмывке корней многих десятков образцов. Конечно, здесь могут быть параллельно использованы и данные, которые будут получены при определении количества корневых масс у модельных кустов.

Прирост корней у дерновинных злаков надо вычислять так же, как это предложено в разделе о степях (стр. 32). Это же относится и к другим многолетним травам. Прирост корней однолетних растений признается равным запасу корней; прирост надземной части однолетних растений — их надземной органической массе.

**Учет прироста лишайников и мхов.** Определение годичного прироста кустистых лишайников и мхов надлежит осуществлять по методике, изложенной выше (стр. 21). Однако надо быть готовым к тому, что исследователь в пустыне столкнется с новыми условиями и непредвиденными трудностями, преодолевать которые придется впервые.

Что же касается кочующих лишайников, то как в отношении определения опада, так и в отношении годичного прироста их массы в сообществе не могут быть предложены испытанные способы, так как их не существует.

Можно испытать периодическое взвешивание специальных маркированных экземпляров, выбранных на охраняемой пробной площади и аккуратно укладываемых на прежнее место. Можно применить обвязывание комочеков лишайника нейлоновой ниткой с крохотной замумированной биркой из достаточно стойкого материала (тонкая алюминиевая или пластмассовая пластина). Следует предусмотреть крепление свободного конца нитки к миниатюрному колышку, чтобы комочек лишайника не был унесен водой или ветром.

Другие возможные приемы будут вырабатываться в процессе самой работы, которая потребует терпения, кропотливого внимания, скрупулезной точности при взвешивании. Последнюю операцию следует приурочить к дням с сухой погодой в течение нескольких предшествующих дней (это для того, чтобы в наибольшей мере избавиться от ошибки в весе, который может сильно меняться при увлажнении). Желательно замаркировать и первоначально взвесить не менее 300 экземпляров, разбив их на 3 серии по 100 штук. Первую серию наблюдать 1 год, вторую — 2 года и третью — 3 года.<sup>48</sup> По окончании опыта над каждой серней лишайники должны быть освобождены от минерального ядра (и вообще от минеральных примесей) и взвешены после досушивания при 105°. Далее из них должна быть тщательно отобрана средняя прора для определения количества органического вещества описанным выше косвенным способом (стр. 41). После всего этого может быть определена величина годичного прироста абсолютно сухого вещества на 1 га.

**Учет прироста почвенных водорослей.** Прирост почвенных водорослей приравнивается к сумме фитомассы водорослей, определенной во все сроки накопления ими органического вещества в периоды обильного увлажнения почвы в течение года.

Таким образом, в величину прироста (полного прироста) пустынных сообществ должны войти следующие величины.

Прирост однолетних органов, в который включаются: 1) листья, ассимилирующие побеги и другие однолетние органы полукустарничков на момент учета (в период максимального развития); 2) листья и другие однолетние органы, отмершие до момента учета; 3) плоды и семена, образовавшиеся после учета до конца вегетации; 4) надземная фитомасса однолетних растений; 5) надземная масса многолетних травянистых растений (за вычетом узлов кущения дерновинных злаков); 6) прирост мхов, лишайников и водорослей. Прирост многолетних органов, в который включаются: 7) прирост древесины; 8) прирост узлов кущения дерновинных злаков. Прирост корней, в который включаются: 9) подземная масса однолетних растений; 10) прирост корней многолетних растений.

Все данные должны быть выражены в абсолютно сухом веществе в ц/га.

#### Учет опада

Специальных работ по учету годичного опада в пустынных (полукустарниковых и полукустарничковых) сообществах не проводилось. Исследователи (Базилевич и Родин, 1956) исчисляли количество органической массы, поступающей в опад (*f*), следующим образом: вес (*q*) органической массы многолетних частей делили на число лет (*n*) средней про-

<sup>48</sup> Если первые два года наблюдений окажутся «сухими» — с ничтожным количеством осадков, то третью серию замаркированных экземпляров следует сохранить на следующий год (а может быть, и на 2 года) и одновременно заложить три новые серии, в расчете, что наступит год со средним или высоким количеством осадков и благоприятными для роста лишайников температурными условиями и режимом влажности.

должительности жизни<sup>49</sup> растений данного вида и к полученной величине прибавляли вес однолетних частей полукустарников и всех травянистых растений (а), т. е. по формуле:  $f = \frac{g}{n} + a$ .

Конечно, такой способ дает весьма приближенные сведения и нуждается в экспериментальной проверке.

Учет опада полукустарников и полукустарничков. Единственным надежным способом может быть непосредственный сбор опада на протяжении года. В этих целях в полукустарниковых сообществах (полынниках, боярышниках, бородавниковых и т. п.) следует огородить металлической сеткой<sup>50</sup> 3—5 площадок (сообразуясь с необходимостью охвата возможно более типичных участков изучаемого сообщества)<sup>51</sup> шириной 1 м и длиной 5 м. С такой узкой площадки можно собирать опад, находясь вне ее, с тем чтобы не повреждать растений и не затаптывать их опавшие части. На этих площадках в течение всего года производится неоднократный сбор<sup>52</sup> опавших листьев, однолетних побегов и отмерших листьев и стеблей травянистых растений,<sup>53</sup> а также опавших плодов и семян тех и других. Собранный материал разбирается по названным фракциям в отдельные мешочки и взвешивается (после досушивания при 105° взвешивается вновь) с дальнейшим пересчетом на 1 га.

В сообществах с участием крупных полукустарников (саксаула, гребенщика, черкеза, рослых видов кандыков и др.), помимо вышеописанных площадок, на которых будет учтен опад низких полукустарничков и травянистых растений, необходимо собрать опад названных высокорослых растений. Для этого необходимо выбрать по 3—4 куста, соответствующих по размерам модельным кустам каждого класса, и огородить их металлической сеткой по внешней границе кроны (лучше несколько больше). С огороженной площадки надо регулярно производить сбор опада и помещать в мешочки, как и в ранее описанном случае. Однако, так как под крупными кустами (в особенности под саксаулами и гребенщиками) в сроки массового «веткопада» будут накапливаться большие количества материала однолетних частей, то в таких случаях собранную массу необходимо взвесить на месте и отобрать из нее среднюю пробу весом 0,5—1 кг (0,3—0,5 кг), после высушивания которой при 105° можно будет вычислить вес сухого органического вещества всего опада. Точно так же следует поступать и с крупными «стволами» цветоносов гигантских зонтичных (видов *Ferula*, *Dorema*) и т. п., т. е. после взвешивания их на месте брать навеску для последующего досушивания и дальнейших пересчетов на сухое органическое вещество.

В 1965 и 1966 гг. в Репетекском пестчано-пустынном заповеднике под кустами саксаула и других крупных полукустарников были установлены для сбора опада небольшие деревянные ящики с внутренней площадью 500 см<sup>2</sup> (20×25 см). Ящики имели бортики высотой 15 см, дно

<sup>49</sup> Среднюю продолжительность жизни можно установить, вычислив процент отмерших в текущем году взрослых особей от всего их количества. При 5% отмерших взрослых экземпляров средняя продолжительность жизни равна 20 годам, при 10% — 10 годам, при 1% — 100 годам и т. д. При учете отмерших растений раздельно по возрастным группам можно получить более точные данные (Работнов, 1960, стр. 250).

<sup>50</sup> Сетка необходима для предохранения площадки от винограда ветром опавших органов растений, а также от приноса постороннего материала.

<sup>51</sup> Рекомендуется такие площадки закладывать под кустами, соответствующими модельным.

<sup>52</sup> Сбор следует приурочивать к наблюдаемым периодам массового опада во избежание потерь из-за измельчения, поедания его животными (насекомыми, птицами, грызунами), разрушения бактериями и т. п.

<sup>53</sup> У однолетних солянок, достигающих максимальной надземной массы в период бутонизации, вслед за этим начинается постепенный опад листьев и количество надземной массы постоянно уменьшается (Синьковский, 1957).

из металлической сетки и были установлены на остро заточенных ножках, несколько углублявшихся в почву, чтобы обеспечить их неподвижность.

В начале исследования был убран из-под кустов весь накопившийся многолетний опад, после чего были установлены вышеописанные ящики (в количестве от 2 до 10 в соответствии с размерами кустов).

Ежемесячный сбор опада из ящиков позволил получить данные о динамике опада в течение года. По истечении года из-под кустов (в пределах подкоронного пространства) был собран весь накопившийся за это время опад.

При пересчете количества опада, собранного в ящики, на площадь всего подкоронного пространства оказалось очень близкое совпадение с действительно наблюдавшимся накоплением опада на этой площади.

Заложенный опыт продолжается, однако уже можно рекомендовать применение ящиков небольшого размера<sup>54</sup> в количестве 8—10 штук под крупными кустами и 2—3 под мелкими, с тем что ошибка будет в пределах ±5—6% (Мирошниченко и Тогызаев, 1967 г.).

Специальной проверкой было установлено, что упавший в ящики опад не выносится ветрами даже в периоды, когда они дуют с большой силой; только в двух случаях было отмечено выдувание из ящиков, установленных близ гребней высоких гряд. В межгрядовых понижениях в илаковом черносаксаульнике потеря из ящиков не превышала 2% от положенного в начале опыта количества опада.

Опад надземных органов однолетних растений принимается равным их фитомассе.

Опад надземной части дерновинных злаков и других многолетних травянистых растений принимается равным приросту.

Учет опада лишайников, мхов и почвенных водорослей. Процессы отмирания (и поступления в опад) лишайников и мхов в пустынях совершенно не изучены, и здесь требуются первичные исследования. Что же касается водорослей, то, в связи с тем что вегетация их может происходить несколько раз в году — во все периоды выпадения достаточно обильных осадков, необходимо столько же раз учитывать накопленную ими массу органического вещества. Все органическое вещество водорослей следует включать в опад текущего года (остающиеся в почве споры характеризуются столь небольшой по весу величиной, что ее можно пренебречь).

Суммируя данные по всем группам растений, входящим в сообщество, пересчитанные на сухое вещество и на 1 га, можно получить сумму годичного опада от надземной части сообщества.

Для получения данных о всей сумме опада в сообществе необходимо еще определить величину «корнепада».

Учет опада корней. В пустынных сообществах в этом вопросе возникают свои, специфические, затруднения.

С корнями однолетних растений дело обстоит просто: они полностью отмирают, и, таким образом, их масса должна быть зачислена в опад. У монокарпиков (*Ferula*, *Dorema*) по числу цветущих особей на 1 га можно вычислить количество отмершего органического вещества их клубнекорней. Для этого надо откопать 5—10 корней у зацветших особей,<sup>54</sup> взвесить их в сыром состоянии, взять один корень (тоже определив сырой вес) для досушивания при 105°, вычислить процент усушки и на основании этих данных вычислить количество сухого органического вещества этого вида на 1 га.

<sup>54</sup> Виды *Ferula* зацветают и плодоносят на 8—9-м году жизни (Нечаева и Приходько, 1963).

Пользуясь методом, описанным выше для степных дерновинных злаков (стр. 36), можно вычислить количество отмирающих корней у аналогичных злаков пустыни.

У пустынных полукустарников и полукустарничков продолжительность жизни корней и процессы отмирания их совершенно не изучены. В этой области необходимы первичные наблюдения и исследования. Пока что авторы (Базилевич и Родин, 1956) применяли следующий расчет для определения опада корней.

1) Определяется процент соотношения веса однолетних и многолетних частей в надземной части растений данного вида (на основании модельных кустов).

2) Общий вес ( $W$ ) корней делится в такой же пропорции, и величина, соответствующая однолетней части ( $W_a$ ), зачисляется в опад (на основании предположения, что доля корней, питавшая эти части, также отмирает).<sup>55</sup>

3) Остающаяся величина ( $W - W_a$ ) делится на число лет средней продолжительности жизни растений данного вида ( $n$ ), и эта часть также включается в опад.

Таким образом, величина опада корней ( $R$ ) вычисляется по формуле

$$R = W_a + \frac{W - W_a}{n}.$$

В использованном расчете наибольшая неточность может оказаться в определении величины  $W_a$ . Что касается величины  $\frac{W - W_a}{n}$ , то поскольку полукустарники имеют среднюю продолжительность жизни порядка 30, 40, 50 лет и более (Работнов, 1946; Стешенко, 1960), ошибка здесь лежит в пределах 2–3% и менее (при продолжительности более 100 лет — менее 1%) и, таким образом, весьма мало сказывается на итоговой сумме. Следовательно, важной задачей является проведение прямых наблюдений над процессом ежегодного отмирания части корневой системы растений и установление соответствующих количественных показателей.<sup>56</sup>

Опад корней однолетних растений принимается равным их запасу.

При изучении вопросов динамики органического вещества в тугаях (поенные леса пустынной зоны) следует применять в основном методику, разработанную для лесов, дополняя ее некоторыми новыми приемами, исходя из местных конкретных особенностей структуры сообщества (например, сочетая расстановку ящиков для сбора опада деревьев с огороженными площадками на освещенных участках, и т. п.).

#### УЧЕТ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ В ТУНДРОВЫХ СООБЩЕСТВАХ

Методы учета фитомассы в сообществах тундры до настоящего времени разработаны крайне недостаточно. По этому вопросу имеется публикация В. Д. Александровой (1958). Ранее были накоплены данные о продуктивности лишь надземной части сообществ тундр, и они касались только цветковых растений и лишайников — растений, поедаемых оленями, и отчасти мхов (Самбук, 1934; Андреев, Игошина и Лесков, 1935;

<sup>55</sup> Это предположение отчасти подкрепляется тем установленным фактом, что развитие и отмирание корневой системы у многолетних травянистых растений находится в прямой зависимости от степени развития и состояния надземной сферы растения (Смелов, 1947).

<sup>56</sup> Г. Н. Белостоков (1959) говорит о сезонной смене корней, однако он не приводит никаких количественных показателей.

Говорухин, 1950; Андреев, 1954а, 1954б; Лавренко, Андреев и Леонтьев, 1955). Излагаемая ниже методика нуждается в проверке и дополнениях.<sup>57</sup>

#### Выбор пробной площадки

В связи с сильно выраженной мелкой мозаичностью растительного покрова в тундре в полевых условиях прежде всего определяются элементы мозаики и микрокомплексности, обычно тесно связанные с микрорельефом. Затем для установления количественных соотношений различных элементов мозаики закладывается трансект длиной не менее 5 м, шириной 1 м. На основании промеров и зарисовок вычисляются площади для каждого элемента, в том числе и пятен, лишенных (или почти лишенных) растительности.

Далее выбираются две пробные сходные площадки, 5 м длины, 20 см ширины, одна для определения органической массы, другая для наблюдений за приростом и опадом.

По краю первой площадки на всю ее длину закладывается траншея на глубину проникновения корней (обычно же до мерзлого слоя). Пробная площадка разбивается на отсеки в соответствии с установленными элементами мозаики. Таким образом, обеспечивается повторность учета однозначных единиц комплекса.

Далее производится обработка каждого элемента мозаики, в том числе и голых пятен.

#### Учет фитомассы

**Учет надземной фитомассы.** Сначала срезаются все растения над моховым покровом и дифференцируются на: а) кустарнички, б) злаки, в) осоковидные, г) разнотравье с выделением бобовых (в зависимости от целей работы можно производить разбор по видам), д) лишайники (кустистые, трубчатые, листовые, накильные), е) водоросли.

При этом собираются раздельно живые и отмершие части растений. У вечнозеленых кустарничков выделяются листья и побеги текущего года, листья прежних лет, старые стебли. У листопадных кустарничков выделяются листья и побеги текущего года, старые стебли.

Затем выделяется (обычно по цвету) и срезается слой живых мхов. Из этого слоя выбираются кустарнички и другие растения и сортируются, как было указано. Отдельно у мхов срезается прирост текущего года, если он был установлен предварительно проведенными стационарными исследованиями (см. выше, стр. 21).

На голых пятнах собираются слоевища водорослей и берутся поверхностные образцы почвенных корок для последующего камерального изучения почвенных водорослей, играющих заметную и важную роль в освоении растениями обнаженных субстратов в тундре (Тихомиров, 1957; Кошелева и Новиков, 1958). Это дает возможность подойти к вопросу о количестве живого вещества, ими образуемого.

**Учет корней.** После обработки надземной части приступают к выемке корней и других подземных органов растений по генетическим горизонтам почвы.

<sup>57</sup> Предлагаемые методические указания по определению фитомассы, прироста и опада базируются на опыта и соображениях группы сотрудников Ботанического института АН СССР и Центрального музея почвоведения: В. Д. Александровой, В. В. Вихревой-Васильковой, В. А. Гаврилюка, А. И. Марченко, Б. Н. Иорина, А. Т. Рахмановой, В. Ф. Шамурина. Со всеми этими исследователями были проведены подробные консультации и обсуждения. Авторы выражают всем упомянутым лицам свою признательность. (Прим. Н. Б. и Л. Р.).

Нижняя часть дернины и отмерших мхов рассматривается как слой, аналогичный лесной подстилке (горизонт А<sub>0</sub>). Этот слой отличается от вышележащего побуревшим цветом мхов, а от нижнего, обычно торфянистого, — еще сохранившейся структурой побуревших частей растений.

Из этого слоя выбираются живые части кустарничков и трав учитываться отдельно. Мертвые остатки кустарничков и трав учитываются отдельно.

В слое подстилки, а также в торфянистом слое сначала отбираются более крупные остатки. В зависимости от целей работы они могут быть разделены по видам растений. Затем из остатка берутся три навески (каждая соответствует примерно 1/20 части образца), размачиваются в воде (а если отбираемые подземные органы предназначаются для химического анализа, то в спирте) и под бинокуляром из них выбираются все живые подземные части. Вес их перечисляется на весь образец. Из минеральных горизонтов почвы подземные части растений отмываются на ситах с ячейками 0.25 мм водой. Под голыми пятнами также необходимо проводить учет корневых масс.

Все пробы надземных и подземных частей растений взвешиваются, и из средних проб берутся навески для определения влажности.

Сбор различных частей (живых и отмерших) растений для химического анализа производится на участке, соседнем с пробной площадкой, в количествах не менее 100—150 г для одревесневших многолетних органов растений и корней и 50 г для зеленых частей и отмерших органов растений (указан вес воздушно-сухого вещества каждой пробы).

Выемка корней для анализа из минеральных горизонтов должна производиться руками (корни не отмывать водой!) или же, как было указано выше, из слоя подстилки или торфа при смачивании спиртом.

#### Учет прироста

У вечнозеленых кустарничков прирост определяется по весу зеленых листьев (хвои) и побегов текущего года (при этом необходимо обратить внимание на то, что не все побеги могут иметь прирост в текущем году).

У листвопадных кустарничков прирост зеленою части определяется по весу побегов текущего года и весу листьев.

При этом следует иметь в виду (и провести наблюдения), что для полукустарников очень характерно отмирание значительной части побегов текущего года в том же году (Данилов, 1958). Вес отмерших побегов текущего года должен быть прибавлен к весу прироста побегов этого года. Прирост одревесневших стеблей и корней кустарничков подлежит изучению. Следует испытать методику, предложенную для определения прироста полукустарников в пустынной зоне (стр. 45—46).

Прирост надземной фитомассы травянистых растений определяется по весу зеленых, ассимилирующих органов в сроки максимального их развития (примерно 1-я половина августа), за вычетом веса зеленых частей, зимовавших под снегом. Последние лучше определять в самом конце предшествующего вегетационного сезона перед уходом растений в зиму (на второй пробной площадке). Прирост корней полукустарничков совершенно не изучен. Условно он может быть принят равным запасу живых корней этих растений, деленному на средний возраст полукустарничков. Прирост корней трав также не изучен. Ориентировочно, по аналогии со степными многолетними травянистыми растениями, он может быть принят равным 1/3 запаса живых корней трав.

Определение прироста мхов и кустистых лишайников производится, как указано выше, в разделе о лесах (стр. 21). Следует изучить прирост других различных групп лишайников.

#### Учет опада

Определение количества опада в тундровых сообществах представляется делом необычайно сложным, так как у большинства растений тундры ежегодно отмирающие части (листья, годичные побеги) не отделяются от живого растения, а остаются на стеблях, постепенно накапливаясь.

Для учета опада растений, ежегодно сбрасывающих отмирающие части, предлагается установка (на 2-й наблюдательной площадке) под такими же растениями небольшого размера сит с капроновой сеткой с ячейками 1 мм. Число сит должно быть не менее 20—25, чтобы обеспечить достаточную точность учета. Опад надо собирать по мере накопления, не допускать его выщелачивания осадками. Зная площадь сит, можно вычислить количество опада на 1 га.

Для учета опада растений, не сбрасывающих или только частично сбрасывающих ежегодно отмирающие части, рекомендуется испытать следующие методы.

а. В начале вегетации удаляются с растений отмирающие части прошлого года. Они легко отличимы от более старых отмерших частей по менее бурой окраске. Затем под растения ставятся учетные сита, в которые собирается опад. При этом упавшие отмирающие части растений прошлых лет убираются и учитываются только отмирающие и опавшие органы текущего года. В конце вегетации с растений удаляются отмирающие в текущем году, но не опавшие части и прибавляются к собранному опаду. Сумма опада, собранного в сита и перечисленного на гектар, и срезанные отмирающие части в текущем году, также перечисленные на гектар, и дадут общую массу ежегодно отмирающих надземных органов растений.

б. Выбирается по 20—25 экземпляров каждого вида растений, и учитываются их фитомасса с разделением на следующие фракции: 1) живые зеленые части, 2) живые многолетние части, 3) побуревшие отмирающие зеленые части текущего года (собственно опад), 4) отмирающие части прошлых лет. Вес собственно опада (3-я фракция) вычисляется по отношению к весу зеленых частей. Зная вес растений и фракций, а также количество их на единице площади, перечисляют полученные данные на гектар.

Собранный тем или иным способом опад тотчас взвешивается, и из него берется навеска для определения влаги. Затем опад доводится до воздушно-сухого состояния и из него берутся средние пробы для химического анализа (необходимо брать раздельно по фракциям опад зеленых частей и опад многолетних надземных органов).

Учет опада мхов и лишайников. Опад (отмирание) мхов принимается ориентировочно равным около 70% (Пьяченко, 1960) ежегодного прироста мхов.

Отмирание лишайников принимается равным их годичному приросту.<sup>58</sup>

Учет опада корней. «Корнепад» в сообществах тундры (как и в большинстве других сообществ) совершенно не изучен, хотя главная масса опада в тундровых сообществах, вероятно, принадлежит подземным органам. В этом направлении необходимо провести первичные наблюдения и исследования.

Ориентировочно можно принять опад корней полукустарничков равным весу живых корней, деленному на средний возраст кустов.

«Корнепад» многолетних трав принимается равным приросту корней.

<sup>58</sup> Лишайники в Арктике отличаются особо большой продолжительностью жизни — до 250—400 лет у некоторых видов. Эпилитные же (на скальные) лишайники, например *Rhizocarpon geographicum*, могут жить до 1300 лет (Beshel, 1955).

## УЧЕТ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ В ПОСЕВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР<sup>69</sup>

Количественный учет органической массы сельскохозяйственных культур и круговорот зольных элементов и азота в системе почва—растение—почва имеет большое значение для изучения процессов почвообразования и плодородия почвы, а также для решения многих задач в практике сельского хозяйства, в частности вопросов удобрения сельскохозяйственных культур, их размещения и чередования в севооборотах.

Для определения массы органического вещества сельскохозяйственных культур обычно применяются методики, которые используются при изучении фитомассы растений в естественных ассоциациях. Однако при этом обычно не учитываются особенности возделывания сельскохозяйственных культур, и получаемые результаты часто бывают неудовлетворительными, а литературные данные по фитомассе одной и той же культуры — разноречивыми.

Сельскохозяйственные культуры в отличие от растений в естественных ассоциациях размещаются на площади в строго определенном порядке, и, кроме того, значительная часть их надземной массы вместе с урожаем отчуждается с места произрастания, не принимая непосредственного участия в круговороте элементов. С другой стороны, во время вспашки часть наземной массы растений, которая остается на поверхности после уборки урожая, попадает в почву.

Таким образом, при изучении биологического круговорота элементов в посевах сельскохозяйственных культур необходимо учитывать характер размещения растений на поверхности и раздельно определять: 1) надземную массу растений, которая отчуждается с урожаем; 2) надземную часть растений, остающуюся на поверхности после уборки урожая; 3) массу корней растений. [Кроме того, учитывается раздельно надземная масса и корни сорных растений].

Количественный учет органической массы надземной части растений проводится во время созревания и уборки культуры. В зависимости от условий учет массы урожая может проводиться прямым или косвенным методом (Щерба, 1960).

### Выбор пробных площадок

В хозяйственных посевах отчуждаемая с урожаем часть сельскохозяйственных культур учитывается на пробных площадках. При определении размеров пробных площадок следует прежде всего учитывать характер размещения растений на поверхности и ширину междурядий, а неходить только из удобства пересчетов, беря для учета площадки в 1 м<sup>2</sup>, 5 м<sup>2</sup>, 10 м<sup>2</sup> и т. д. В зависимости от ширины междурядий размеры пробных площадок могут меняться приблизительно от 1—1.5 м<sup>2</sup> в сплошных рядовых посевах хлебов и многолетних трав (90×90 см—150×150 см при ширине междурядий 15 см) до площадок, стороны которых соответствуют 2—3—5-кратной ширине междурядий в полях пропашных культур. Количество пробных площадок зависит от нестабильности почвенного покрова и однородности состояния растений в посеве, но не должно быть меньше трех.

<sup>69</sup> Данный раздел представляет собой статью Ф. И. Левина (1964) с некоторыми дополнениями авторов (Н. Б. и Л. Р.), показанными в квадратных скобках.

### Учет фитомассы

Фитомасса посева сельскохозяйственных культур состоит из органической массы (надземной и подземной) собственно сельскохозяйственных растений и сорных растений. Учет тех и других производится на специальных площадках путем срезания растений под корень. В дальнейшем производится разбор растений по видам и по структурным элементам. Метод учета корней изложен ниже.

Учет массы растений, отчуждаемых с урожаем, [в зависимости от типа культур и способов уборки урожая учет отчуждаемой с урожаем органической массы производится различно]. Обычно яровые зерновые срезаются на высоте 15 см, озимые — на высоте 18 см и травы — на высоте 5 см от поверхности почвы.

В деляночных опытах в зависимости от размера делянок отчуждаемая часть урожая определяется или методом сплошного учета, или на пробных площадках, как в хозяйственном посеве. В урожае раздельно учитываются зерно, клубни, корнеплоды, початки кукурузы и корзинки подсолнуха, солома, сено, используемые на силос части ботвы, листьев и т. д. [Для крупностебельных растений можно применить метод модельных экземпляров]. При этом рекомендуется измерить высоту и толщину главного стебля не менее чем у 100 особей и отобрать 10—20 средних экземпляров для взвешивания и отбора проб].

Учет массы послеуборочных остатков растений. Часть надземной массы растений, которая остается на поверхности почвы после уборки урожая (стерня, крупные стебли, листья, недозрелые плоды, семена, а также сорные растения и пр.), определяется на тех же пробных площадках. В случае сплошного учета урожая на мелких делянках площадь для учета поверхности остатков колосовых и многолетних трав может быть снижена до размеров порядка 1—1.5 м<sup>2</sup>. Наоборот, площадь учета крупных остатков полевых пропашных и овощных культур (крупные листья, ботва, стебли и пр.), остающихся на поверхности после уборки урожая в хозяйственных посевах, увеличивается до размеров порядка 25—400 м<sup>2</sup> и больше.

В производственных условиях высота среза надземной части растений уборочными машинами колеблется в очень широких пределах, поэтому в случае машинной уборки урожая проводится дополнительный учет поверхностных остатков и вносятся соответствующие поправки в результаты определения фитомассы растений, полученные на пробных площадках.

При учете органической массы надземной части растений берутся пробы на определение веса отдельных частей растения, которые в дальнейшем используются для вычисления сухой массы частей растения.

[Чтобы получить полную величину поступающих в почву растительных остатков от надземной части, к весу послеуборочных остатков прибавляется вес собранного за вегетационный период опада. Все величины выражаются в ц/га абсолютно сухого веса.

Опад корней однолетних растений принимается равным запасу корней. «Корнепад» многолетних растений, например многолетних трав, принимается условно равным  $\frac{1}{3}$  части запаса корней].

Учет корней. Для изучения биологического круговорота азота и зольных элементов особенно большое значение имеет точный учет массы корней сельскохозяйственных культур. При учете их обычно используются различные методы (Тарановская, 1957). Однако многие из них, удовлетворительные при работе на целине и залежи (методы: Качинского, 1925; Станкова, 1951; Панковой, 1960, и др.), непригодны или требуют изменений, когда их используют для учета корней сельскохозяйственных культур. Этим объясняется несоответствие данных о количестве корневых

остатков сельскохозяйственных культур по различным литературным источникам. Количество корней яровой пшеницы, например, по разным литературным источникам составляет: 6—7 ц/га (Хайрулис, 1948), 22 ц/га (Каспиров, 1959) и 65—115 ц/га (Яковлева, 1959). Источником ошибок в определении массы корней является несоответствие размеров и формы образцов для учета корней с характером размещения культурных растений на поверхности почвы, а также наличием в пахотном слое почвы измельченных остатков предшествующих культур и в ряде случаев органических удобрений.

В практике определения количества корней используются, например, образцы размером 25×25 см (Качинский, 1925), 25×20 см (Рахтеенко, 1949), 20×10 см (Духанин, 1939), 10×10 см (Михновский, 1956), в то время как ширина междуурядий в посевах большинства культур составляет 7.5—15 см, 35 см, 70 см. Это несоответствие неизбежно приводит к ошибкам, которые при пересчете количества корней на гектар увеличиваются в сотни раз.

При отборе проб для учета корней используются и круглые буры (Духанин, 1938; Мерсон, 1939; Надъярый, 1939), которые легче погружаются в почву и позволяют брать пробы из нижних горизонтов почвы. Однако при работе круглыми бурами получаются заведомо неправильные результаты. Буры, диаметр которых меньше ширины междуурядья, дают слишком завышенные или, наоборот, заниженные результаты в зависимости от того, как центрируется бур — в ряду растений или в междуурядье. Как отмечает Н. З. Станков (1951), круглые буры диаметром 5.5 см даже при 25-кратной повторности дают неудовлетворительные результаты. Кроме того, круглые буры по сравнению с прямоугольными недоучитывают 27% площади в посеве (Шапин, 1948). Если бур центрирован в ряду растений, то при этом не учитывается площадь, приуроченная в основном к междуурядьям с заведомо меньшим количеством корней. Поэтому результаты учета корней круглыми бурами бывают всегда завышены, так как они характеризуют только ту часть площади, где корней больше (в ряду растений). По определениям С. С. Шапина (1948), например, содержание корней люцерны при учете их круглыми бурами в слое 0—10 см составляло 59.57 ц/га вместо 47.27 ц/га и соответственно 27.72 ц/га вместо 22.78 ц/га в слое 10—20 см. По Н. З. Станкову (1951), круглые буры диаметром 15.5 см завышают результаты определения корней на 20—25%.

Большие ошибки в определении массы корней сельскохозяйственных культур обусловлены наличием в почве органических остатков предшествующих культур. На пашне в отличие от целины сельскохозяйственные культуры ежегодно сменяют друг друга, а их корни и остающиеся на поверхности поживные и прочие остатки во время обработки почвы и в процессе разложения измельчаются и перемешиваются во всей толще пахотного слоя. К ним добавляются также измельченные обработкой и отчасти разложившиеся остатки органических удобрений. Количество органических остатков предшествующих культур обычно очень велико и часто намного превышает массу корней изучаемой культуры. Так, например, количество измельченных органических остатков, так называемых корневых остатков, в чистом пару, т. е. в поле, где нет растений, по литературным данным, может достигать 30, 70 и даже 140—180 ц/га (Бялый и др., 1953; Сидоров и Куранов, 1960; Куранов, 1961). При этом среди них могут быть и живые корни многолетних растений, корни проростков падалицы, сорняков и т. д. Количество живых корней в чистом пару, по некоторым определениям, например, составляло 7—12 ц/га (Бялый и др., 1953).

Отделение измельченных органических остатков предшествующих культур от корней изучаемых растений удается только в монолитных,

ненарушенных, образцах почвы при условии сохранения в целости корневой системы растения. Если при взятии образца для отмычки корней естественное сложение почвы нарушается и она распадается на мелкие комки, то вместе с этим разрывается на мелкие части и корневая система растения. Сильное измельчение корней, а вместе с ними и органических остатков предшествующих культур происходит при отмыке их методом декантации (Ривкинд, 1946; Панкова, 1960), когда довольно толстый слой почвы, осевший на дно сосуда, перемешивается до полного разрушения почвенных комков. При наличии в почве крупного песка, ортитнов и скелетных элементов корни и органические остатки измельчаются особенно сильно. В унавоженных почвах на учетном сите к ним добавляется масса мелких, тонких нитей, подобных мелким корешкам, на которые в процессе измельчения и промывки распадаются комки навоза. Выделить из этой смеси корни изучаемого растения приемами отмывания в воде или пинцетом не удается. Поэтому при учете корней в разрушенных образцах пахотных почв получают обычно очень завышенные результаты и недопустимые расхождения при повторных определениях. Абсолютные величины массы корней одной и той же культуры при определении их в разных полях по той же причине изменяются часто во много раз в зависимости от предшественников, места в севообороте, внесения органических удобрений и т. д.

Учитывая вышеуказанные особенности сельскохозяйственных культур, рекомендуется отмывать их корни из ненарушенных монолитных образцов прямоугольной формы, размеры которых соответствуют или кратны ширине междуурядий в посеве. Чтобы избежать разрыва корней в процессе отмычки, последняя производится после предварительного размокания почвы в воде в течение 6—24 час. в зависимости от механического состава и прочности ее структуры. Как показывает опыт автора и ряда исследователей (Качинский 1925; Köhlein, Vetter, 1953, и др.), корни сельскохозяйственной культуры при этих условиях легко отделяются от измельченных органических остатков предшествующих культур и корней сорняков. При этом имеется возможность дополнительно учитывать количество различных фракций остатков предшествующих культур, чтобы судить об интенсивности их разложения в севообороте. Отмыка корней из образцов нарушенного сложения допустима только для подпахотных горизонтов, в которых нет запаханных поживных остатков предшествующих культур и органических удобрений.

В условиях мелкоделяночных опытов рекомендуется применять прямоугольные буры типа бура С. С. Шапина (1948) или К. С. Духанина (1939), а также прямоугольные рамы, размеры которых соответствуют ширине междуурядий, с последующей выемкой образцов почвы без нарушения их естественного строения. При использовании бура Шапина или рам образец почвы после выемки подрезается длинным ножом вдоль стенок бура или рамы и выдавливается в виде прямоугольного монолита в легкий деревянный ящик, который затем помещается в ванну с водой для размокания почвы. Одна из стенок ящика, ширина которого соответствует ширине бура, делается выдвижной. С помощью деревянных клиньев она зажимает образец в ящике, чтобы в воде он не разваливался на куски и не разрывалась корневая система растений. После размокания почвы выдвижная стенка снимается, ящик устанавливается с наклоном в сторону сита и струей воды корни отмываются от почвы; чтобы сита меньше забивались, рекомендуется первым устанавливать сито с ячейками размером 1.5—2.0 мм, а учет и сбор всех органических остатков производить на сите 0.5 мм (Ильин, 1961).

При определении массы корней пропашных культур с широкими междуурядьями приходится брать не один, а несколько монолитных об-

разцов — большой в центре площади питания и монолиты меньших размеров для характеристики части периферической зоны питания растений. Для этой цели используются буры и рамы различных размеров. [Лучше всего, если эти размеры соответствуют площади питания отдельного растения или нескольких растений].

Учет массы корней сельскохозяйственных культур в отличие от надземной их массы проводится не во время уборки, т. е. не в период полной зрелости растения, а раньше — во время цветения, когда количество корней достигает наибольшей величины. [Одновременно учитывается масса корней сорных растений].

Во время взятия монолитных образцов для отмычки корней учитывается количество растений на площади монолита и их надземная масса. Эти данные используются для вычисления веса корней одного растения и отношения его к весу надземной массы у различных сельскохозяйственных культур. В это же время отбираются (руками) пробы корней для зольного анализа, которые незамедлительно после очистки механическим путем (отряхиванием) быстро, пока они не потеряли тургора, отмываются от почвы спиртом. Корни, отмытые из почвенных монолитов, длительное время находятся в воде и могут потерять часть зольных элементов, поэтому использование их для анализа нежелательно.

Отбор проб для анализа надземной части растений производится одновременно с учетом их урожая. Смешанные образцы для анализа составляются из средних проб, взятых на каждой учетной площадке. Чтобы избежать потерь азота и углерода при сушке сочной массы стеблей, листьев и корнеплодов, их предварительно фиксируют.

#### Учет прироста

[Органическая масса прироста посева сельскохозяйственных культур состоит из следующих слагаемых: а) собственно сельскохозяйственные растения в период уборки урожая; б) сорняки в этот же период; в) сельскохозяйственные растения, удаленные при прореживании и других агротехнических обработках за период вегетации; г) сорные растения, удаленные во время прополок за период вегетации; д) ошавшие органы растений (листья, неоплодотворенные завязи, недоразвившиеся плоды и пр.); е) отмершие, но сохранившиеся на растениях органы.

В связи с этим рекомендуется в течение вегетационного периода производить учеты на специальных площадках в соответствии с хозяйственными работами. Также рекомендуется периодически (не реже одного раза в декаду) со специальных площадок производить сбор опада. В момент учета фитомассы необходимо, кроме того, собрать отмершие, но не опавшие органы растений. Собранный опад разбирают по структурным элементам (листья, плоды и т. п.), и веса полученных фракций прибавляют к весу соответствующих структурных элементов растений, полученных при определении фитомассы. Прирост корней для однолетних сельскохозяйственных и сорных растений принимается равным их запасу. Прирост корней многолетних растений (например, многолетних трав) принимается равным  $\frac{1}{3}$  от их запаса (см. выше, стр. 32)].

#### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ БАЛАНСА БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА

#### ПОСТРОЕНИЕ БАЛАНСА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Годичный баланс органического вещества строится на основании полученных данных по запасам фитомассы, величинам годичного прироста и опада фитоценоза, а также запасам мертвого органического ве-

щества и подстилки (или степного войлока). По разности между приростом и опадом рассчитывается истинный прирост. Как указывалось выше, превышение величины годичного прироста над опадом имеет место лишь в растущих, не достигших зрелости (или динамического равновесия со средой) фитоценозах.

При построении баланса следует особо выделять структурные элементы органического вещества — однолетние и многолетние части, надземные и подземные органы слагающих фитоценоз компонентов. Рекомендуется в итоге давать все веса зеленых однолетних частей в фитомассе, годичном приросте, опаде с расчленением на виды (или группы растений); также веса многолетних частей или корней. В этом случае яснее выступает значение в биологическом круговороте тех или иных растений (или групп растений) и их органов, например надземной части травяного покрова в осветленных лесах или мхов в заболоченных лесах и т. д.

Формы записи годичного баланса органического вещества на примере различных типов растительных сообществ приведены в табл. 8—29. Одновременно в этих же таблицах приведены данные, характеризующие годичный баланс биологического круговорота элементов питания, зольных элементов и азота. Кроме того, даны примеры графических форм изображения табличных данных (рис. 1—14).

При построении годичного баланса органического вещества в фитоценозах следует принимать во внимание ряд хозяйственных мероприятий, например в лесах — влияние рубок ухода и рубок главного пользования, на лугах и пастбищах — сенокосение, пастьбу и т. д. Все эти мероприятия приводят к уменьшению поступления органического вещества с ежегодным опадом и должны быть количественно оценены путем особых учетов.

С другой стороны, вмешательство человека влечет изменения и в ходе роста растений. При пастьбе, например, наблюдается вторичное отрастание зеленых побегов у поедаемых растений, и, таким образом, фактическая величина их годичного прироста возрастает.

При построении баланса динамики органического вещества посевов сельскохозяйственных растений необходимо, например, принимать во внимание фитомассу экземпляров, не достигших полного развития и отчужденных при прореживании. Также следует учитывать фитомассу сорняков и т. п.

#### ПОСТРОЕНИЕ БАЛАНСА БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И АЗОТА

Для построения баланса круговорота элементов минерального питания и азота исходным является баланс органического вещества растительных сообществ. Зная массу органического вещества и его химический состав, можно оценить, по образному выражению В. И. Вернадского (1934), «геохимическую работу» живого вещества. Показателем энергии ассимиляции живыми организмами (зелеными фотосинтезирующими растениями) С, Н и О является до некоторой степени величина годичного прироста. Представление же о поглощении растениями зольных элементов и азота можно получить путем определения химического (в данном случае зольного) состава и содержания N в растениях, слагающих фитоценоз.

#### Содержание зольных элементов и азота в растениях

К настоящему времени накоплен достаточно обширный аналитический материал по характеристике зольного состава как макро-, так и микроэлементов в растениях в целом и в различных их органах. Выявлено,

что растения потребляют более 60 химических элементов. Список их увеличивается по мере проводимых исследований. По-видимому, разделение элементов (Полынов, 1948) на абсолютные органогены (т.е. элементы, необходимые для жизнедеятельности огромного большинства организмов) и элементы-примеси (т.е. элементы, механически захватываемые живыми организмами из среды) вряд ли целесообразно. Новейшие исследования свидетельствуют о физиологическом значении практических всех элементов, встречающихся в зольном составе растений, в том числе Cl и Na, относимых ранее к элементам-примесям.

При изучении биологического круговорота зольных элементов многие зарубежные и некоторые советские исследователи ограничивались определением в растениях небольшого набора элементов — Ca, K, P, S, иногда Mg. В связи с этим при оценке объема круговорота неизбежны были ошибки, так как, например, в сообществах тропических лесов более половины вовлекаемых в биологические циклы химических элементов приходится на Si, Fe, Al, в травяных сообществах степей также на долю Si часто падает более 50%, в тундровых ценозах большое значение приобретает Mn и т. д.

В целях сравнимости материалов и выявления роли тех или иных химических элементов в жизненных циклах, а также роли их в почвообразовании необходимо изучение в первую очередь следующих макроэлементов: Si, Ca, K, Mg, P, Al, Fe, Mn, S, Cl, Na. Зольный анализ рекомендуется проводить по В. М. Калужской (1959) (см. ниже, стр. 69). Из микроэлементов необходимо определять в первую очередь Cu, Co, Zn, B, Mo. Аналитические работы следует постепенно расширять, включая в них определения все большего числа химических элементов.

Данные анализов следует выражать в процентах на абсолютно сухое (высушенное при 100—105°) вещество, в элементах, а не в окислах. Выражение результатов анализов в окислах, как подчеркивал Н. П. Ремезов (1960б), вследствие добавления к весу элементов различных весовых количеств кислорода искажает количественные соотношения между элементами. Полезно также вычислять относительное содержание отдельных элементов от их суммы.

При изучении биологического круговорота элементов необходимо определять во всех органах растений содержание азота (по Кильдалю).

Многочисленные анализы показывают, что огромное большинство растений поглощает из почво-грунтов в наибольших количествах четыре элемента — N, Ca, Si и K. Все другие элементы потребляются в значительно меньших количествах. Однако в связи с избирательной способностью поглощения химических элементов у разных растений соотношения между элементами первой группы варьируют довольно широко. Большинство растений накапливает в заметных количествах (кроме N) какие-либо два элемента из трех ведущих: травянистые злаки — Si и K, травянистые бобовые — Ca и K, древесные породы boreального и умеренного пояса — Ca и K, древесные породы тропического пояса — часто Si, Ca. Весьма характерны также для ряда растений второстепенные элементы; например, для растений тундр — Mn, для растений тропического пояса — Al, Fe, часто Mn, для растений-галофитов — Cl и Na и т. д.

Более всего богаты зольными элементами зеленые ассимилирующие органы растений; затем следуют тонкие корни и ветви (у древесных и кустарниковых видов); далее толстые корни и ветви и, наконец, ствол. Замечено, что органогены первого минимума (N, P, и K) более всего накапливаются в зеленых ассимилирующих частях и в плодах, в одревесневших ветвях в точках роста. В направлении от наружной части ствола к внутренней отмечается возрастание содержания Ca и уменьшение N, P, K.

Сопоставление данных анализов деревьев разного возраста (Мина, 1955; Ремезов, Быкова, Смирнова, 1959; Ovington, 1959a, 1959b; Ovington a. Madgwick, 1959; Молчанов, 1964, и др.) показало, что содержание N и зольных элементов в различных частях деревьев практически не зависит от возраста деревьев (исследовались дуб, липа, береска, осина, сосна, ель) и колеблется в пределах точности анализа. Это позволяет значительно сократить объем аналитических работ и ограничиться определением содержания N и зольных элементов в одном из модельных деревьев для каждой породы.

Также весьма небольшие различия наблюдаются при анализе растущих и усохших деревьев, что дает возможность использовать в расчетах возврата элементов с отмершими деревьями данные анализов живых модельных деревьев.

Несколько большие различия в содержании зольных элементов и азота обнаруживаются при анализе одних и тех же растений, но взятых из различных местообитаний. Например, наблюдается значительно большее накопление элементов питания во всех органах ели и сосны, произрастающих в лесостепной зоне (Розанова, 1960), нежели в тех же породах, но растущих в пределах южной тайги (Ремезов, Быкова, Смирнова, 1959; Родин и Базилевич, 1965). В хвое ели из ельника ручейникового или сложного с травяным покровом отмечается более высокое содержание Ca, нежели в хвое ели из ельника-зеленомощника (Ремезов, Быкова, Смирнова, 1959) и т. д. Однако соотношения между элементами питания являются достаточно устойчивыми для одних и тех же видов. Эти различия в поглощении растениями тех или иных зольных элементов в зависимости от экологических условий обязательно должны приниматься во внимание при выборе пробных площадей для сравнительного изучения биологического круговорота древостоев разных классов возраста.

Значительно большие различия химического состава обнаруживаются у хвои (или листьев вечнозеленых растений) разного возраста. Одногодичная хвоя (листья), как правило, более богата N, P, K, нежели более старая хвоя (листья), но меньше содержит Ca и Si. Наиболее же обогащена Ca и Si опавшая хвоя (Will, 1957; Паршевников, 1959; Родин и Базилевич, 1965, и др.).

Положение в кроне мало сказывается на изменении химического состава хвои (исследовалась *Pinus radiata*). В то же время в ветвях, расположенных ближе к основанию кроны, отмечается возрастание содержания Ca, K, P и Na (Will, 1957).

Из высказанного следует, что при отборе растений и различных их частей для анализа необходимо отдельно собирать хвою (листья у вечнозеленых растений) текущего года. При взятии образцов более старой хвои (листьев) следует очень тщательно отбирать средние пробы с учетом весовых соотношений хвои (листьев) разных лет. То же относится к отбору средних проб из ветвей, ствола и корней.

Кроме указанных, отмечаются такие изменения содержания зольных элементов и N в растениях и их различных частях в зависимости от сезона года: Установлено, например, что от весны к осени при одном и том же возрасте и положении в кроне прослеживается накопление в хвое Ca, Si, иногда Mg, Al, Fe и уменьшение N и K, часто P (Will, 1957; Смирнов и Кузьмина, 1966).

Аналогичные закономерности наблюдались многочисленными исследователями, определявшими зольный состав и содержание N в самых разнообразных растениях. Отмечалось при этом также уменьшение от весны к осени содержания Cl. Следует указать, что главная масса определений относится к зеленым частям растений. Однако в содержании зольных элементов и N в древесине стволов и ветвей и корнях дуба в раз-

ные сезоны года также была установлена аналогичная закономерность, хотя и выраженная слабее, искали в случае с листьями или хвоей (Ремезов, 1962).

Это обстоятельство необходимо принимать во внимание при установлении сроков отбора проб растений для анализа. При однократном взятии проб за сезон рекомендуется приурочить его к фазе цветения для травянистых растений и к фазе завершения оптимума прироста для древесных пород. Не следует отбирать пробы после дождя, так как установлено, что ряд химических элементов (особенно К) частично вымывается из живых растений дождевыми водами.

### Расчет баланса химических элементов

Расчет содержания зольных элементов и N в фитомассе производится путем умножения весов структурных единиц органического вещества каждого вида (или группы видов) на содержание в них того или иного химического элемента. Такого рода расчеты можно производить для разных сезонов в соответствии с задачами исследований. Данные выражают в кг/га, как и другие входящие в баланс величины (табл. 9—12, 14—17, 19—22, 24—26, 28, 29).

Расчет содержания зольных элементов и азота в мертвом органическом веществе устанавливается путем умножения весов подстилки (или отдельных ее слоев), мертвой древесины, ветоши, степной подстилки и т. д. на содержание того или иного химического элемента (табл. 13, 18, 23, 27). Эти расчеты также можно производить для различных сезонов.

Расчет годичного потребления химических элементов нарастающей органической массой (приростом) производится путем умножения весов структурных единиц прироста каждого вида (или группы видов), в том числе и опадающих частей растений, на величину максимального за сезон содержания в них того или иного химического элемента (Ремезов, Родин, Базилевич, 1963).

Необходимость применения такого рода расчетов диктуется тем, что максимальное потребление растениями различных химических элементов не совпадает во времени: N, P, K, Cl, иногда S максимально накапливаются в основном в первую половину вегетации, тогда как Ca, Si, Mn, Al, Fe — в конце вегетации. Уменьшение содержания N, K, Cl, P и других в зеленых ассимилирующих органах растений к концу вегетации обусловлено, по-видимому, не только оттоком этих элементов в многолетние части или корни (согласно исследованиям, содержание N, K, P к концу вегетации уменьшается также и в многолетних органах растений; см. выше), сколько вымыванием атмосферными осадками.<sup>1</sup> Кроме того, снижение к концу вегетации в листьях таких важнейших элементов питания, как N, P, K, возможно, обязано потреблению питательных веществ, заключенных в зеленых частях растений, различными микроорганизмами, насекомыми, птицами и др.

Если подсчет ежегодно вовлекаемых зелеными частями химических элементов производить на основании содержания их в опаде, как это

<sup>1</sup> Исследованиями С. И. Ауэрбаха, Д. С. Олсона и Х. Д. Уоллера (Auerbach, Olson a. Waller, 1964) с применением  $Cs^{137}$ , введенного в стволы древесных пород, показано, что радиоактивный изотоп быстро проникает в листья, где его содержание достигает максимума уже через несколько дней. Далее наблюдалось непрерывное снижение количества  $Cs^{137}$  в листьях в связи с вымыванием его дождевыми осадками — от 1.35 микриог/г до 0.6 микриог/г. Установлена прямая зависимость между интенсивностью осадков и количеством выщелачиваемого  $Cs^{137}$ .

ранее делали Н. П. Ремезов, Л. Н. Быкова и К. М. Смирнова (1959), то потребление K, N, а часто P и S будет значительно преуменьшено.

Если же потребление химических элементов вычислять на основании данных химических анализов растений, взятых в середине вегетации, как это делали В. Н. Миша (1955) и Н. И. Шывченко (1960), то будут преуменьшены показатели для Ca, Si, часто Fe и Al и ряда других элементов. Следует указать, что при применении второго способа расчета при построении годичного баланса круговорота возникали неувязки: потребление Ca, Si, а также некоторых других элементов оказывалось меньшим, чем их годичный возврат с опадом.

Практически для определения максимального накопления тех или иных химических элементов в зеленых частях необходимо пользоваться данными анализов не менее чем за два срока: живого растения в середине вегетации и свежего опада в конце вегетации. В связи с трудностями неоднократного взятия модельных деревьев, а также учитывая небольшие изменения содержания элементов питания в разные сезоны, можно пользоваться данными анализов древесины ствола, ветвей и корней на основании проб, взятых однократно в середине вегетации.

Полученные величины потребления того или иного химического элемента различными растениями (по структурным элементам органического вещества) суммируются, и вычисляется общее годичное потребление элементов питания фитоценозом в целом (табл. 10, 15, 20, 24).

Расчет годичного возврата химических элементов с опадом производится путем умножения весов годичного опада того или иного растения или группы растений (с учетом их структурных элементов) на содержание того или иного химического элемента в опаде. Затем полученные данные суммируются для всех растений, входящих в фитоценоз (табл. 11, 16, 21, 29). Вычисление возвращаемых в почву элементов питания должно производиться исходя из фактически определяемой величины опада, т. е. с учетом хозяйственных мероприятий (рубки ухода, уборка сухостоя, сенокошение и т. д.).

В лесах, где ведут правильное лесное хозяйство и регулярно проводят рубки ухода, почва получает только опад, состоящий из листьев (хвои), веток, плодов, кусочков коры, опада напочвенного покрова и порубочных остатков. При учете влияния рубок ухода на биологический круговорот необходимо учитывать интенсивность и повторность (промежутки, через которые их проводят) рубок. В зависимости от интенсивности вырубают от 15 до 35% по массе, а в зависимости от возраста рубки проводят через промежутки от 5 до 20 лет. При рубках ухода из леса вызывают обычно стволовую часть, а порубочные остатки остаются на месте.

Таким образом, при рубках ухода лес теряет ту часть элементов, которая заключена в вывозимой древесине. При определении массы вывозимой древесины необходимо учитывать примененную систему рубок ухода.

С порубочными остатками на поверхность почвы единовременно поступает большое количество элементов питания, которое после минерализации органического вещества может быть использовано развивающимся древостоем. Зная массу листьев (хвои), веток и данные их анализа, можно вычислить размер поступления в почву элементов питания.

По имеющимся данным определения массы корней и их анализа можно вычислить поступление элементов с корневыми системами вырубленных деревьев. Следует лишь учитывать возможность срастания корневых систем соседних деревьев. В этом случае корневые системы вырубленных деревьев могут продолжать развиваться. Следовательно, необходимо учитывать реальную сумму отмерших корней. В этом случае нужны специальные исследования.

Значительно легче определить влияние на круговорот рубок главного пользования при сплошнолесосечных рубках, применяемых в настоящее время. В этом случае достаточно знать общее содержание элементов в данном древостое. Из него надо лишь вычесть их содержание в оставляемых семениках. Из биологического круговорота выходит при сплошных рубках часть элементов, заключенная в стволовой части деревьев. Часть же, содержащаяся в листве (хвое), ветвях, сучьях, корнях, остается на месте.

При сжигании порубочных остатков происходит потеря заключенного в них азота. Вопрос о возможной частичной потере других элементов (серы, фосфора, калия) не исследован.

На сплошных лесосеках представляет интерес изучение развивающейся травяной растительности.

При расчетах ежегодного поступления химических элементов в почву также следует учитывать поступление их с атмосферной пылью, осадками, оросительной водой, ирригационными паводками, удобрениями, гербицидами, пинктофунгицидами и т. д.

Определение количества элементов питания, которое ежегодно удерживается в истинном приросте фитоценоза, производится по разности между потреблением того или иного химического элемента и его возвратом, также с учетом видового состава фитоценоза и структурных элементов органической массы растений.

Однако полученная таким путем величина ежегодно удерживаемых растительным сообществом химических элементов и состав последних не вполне будут отвечать истинной картине. Это объясняется наложением на годичные циклы биологического круговорота внутригодичных — сезонных циклов. Эти «малые» циклы значительно могут видоизменять годичный баланс обращающихся в биологическом круговороте химических элементов.

### Внутригодичные циклы биологического круговорота и их изучение

Внутригодичные циклы биологического круговорота весьма многообразны, однако изучены они мало. Наиболее исследованы внутригодичные циклы, обусловленные выщелачиванием химических элементов из живых растений атмосферными осадками. Это явление было известно уже давно, но количественно оценивать его начали на примере различных типов растительных сообществ лишь с конца пятидесятых годов (Will, 1955, 1959; Madgwick a. Ovington, 1959; Свиридова, 1960; Ehwald, Grinert, Schulz u. Vetterlein, 1961; Nye, 1961; Губарева, 1962; Мина, 1965, и др.).

Некоторые авторы (Will, 1959; Nye, 1961) приплюсовывают полученные величины выщелоченных дождевыми водами за сезон химических элементов к количествам их, возвращаемым с ежегодным опадом. Этого ни в коем случае делать нельзя, так как одни и те же химические элементы могут быть вовлечеными в биологический круговорот несколько раз за сезон. Об этом хорошо свидетельствуют, например, чрезвычайно высокие количества калия, выщелачиваемого дождевыми водами из крон влажнотропического леса Ганы за год — 222 кг/га при валовом запасе калия в листьях 200 кг/га (Greenland a. Kowal, 1960; Nye, 1961).

Наиболее обстоятельно вымывание химических элементов атмосферными осадками из живых растений изучено В. Н. Миной (1965). Исследовалось выщелачивание химических элементов дождевыми водами как из листьев, так и из стволов деревьев хвойных и хвойно-широколистенных лесов. Метод основан, как и у других исследователей, на сопо-

ставлении количеств химических элементов в атмосферных осадках, собранных под кронами деревьев и на открытых площадках.

Автором применялась излагаемая ниже методика, которую мы рекомендуем.

Для учета количества и анализа осадков, проникающих сквозь кроны деревьев, на каждой пробной площади устанавливают на небольшом расстоянии (1—2 м) четыре стеклянных вегетационных сосуда (емкостью 3 л) с таким расчетом, чтобы на них проектировались части кроны средней густоты. Такие же сосуды устанавливают на открытых, наиболее близко расположенных участках (на лесосеках или в больших окнах).

Для учета осадков, просачивающихся сквозь подстилку, под нее подсыпают, также в четырех местах на пробной площади, прямоугольные железные листы строго определенного размера ( $20 \times 25$  см), покрытые стойким лаком, с загнутыми с трех сторон бортами высотой 2.5 см. Четвертая (задняя) сторона без борта и слегка заточена. В одном из передних углов листа просверливается отверстие, в которое снизу впивается короткая металлическая трубка. В избранном для установки месте выкапывают небольшую яму с вертикальной лицевой стороной. Железный лист просовывают под подстилку до упора переднего борта листа и устанавливают в слегка наклонном положении с таким расчетом, чтобы просочившаяся вода стекала в передний угол с отводной трубкой. На дне ямы устанавливают и укрепляют полуторалитровую двугорлую склянку. Одну из горловин склянки при помощи резиновой трубки соединяют с нижним концом металлической трубки, впаянной в железный лист. Изнутри над отверстием в листе под подстилку закладывают тампон из стеклянной ваты. Вторую горловину склянки также оснащают резиновой трубкой, свободный конец которой укрепляют выше поверхности почвы. При такой конструкции установки в случае высокого стояния верховодки или при скоплении воды в яме в период дождей склянки не опрокидываются, и их содержимое не смешивается с водой в яме.

Сбор воды, стекающей по стволам, осуществляется при помощи резиновых поясков. На выбранных для учета стока стволах кольцеобразно защищают неровности коры с таким расчетом, чтобы одна сторона кольца была значительно выше другой, образуя в сечении эллипс. На защищенную часть накладывают резиновую полосу шириной 4 см, нижний край ее прибивают мелкими гвоздями к стволу дерева и для полной герметичности заливают изнутри водостойкой замазкой, а верхний отводят от ствола под углом при помощи деревянных распорок. Концы полосы сходятся в нижней части защищенного кольца, и под ними вбиваются в кору дерева приемный желобок из покрытого лаком железа, наружный конец которого свернут в трубку и паклонен вниз. К нему присоединяют резиновую трубку, по которой стекающая по стволу жидкость поступает в установленную у основания ствола приемную бутыль.

Учет осадков для каждого вида наблюдений производят после каждого дождя, а при продолжительных дождях — ежедневно. Количество воды в каждом сосуде измеряют отдельно, после чего воду сливают вместе для каждого вида плавлений на пробной площади и из смешанной пробы отбирают образец для анализа.

Анализ проб воды производят в день взятия проб. Величину pH определяют потенциометром, кальций и магний — титрованием трилоном, азот (аммиачный) — колориметрически, калий — пламенным фотометром. Вследствие очень низкого содержания в пробах фосфатов количественное определение их не производят.

Еще до соприкосновения с живыми тканями растений атмосферные осадки обогащаются рядом элементов за счет атмосферной пыли или растворения газов. Поэтому для того, чтобы оценить размеры выщелачивания

Таблица 5

Содержание некоторых химических элементов и РН в атмосферных осадках, проникающих сквозь кроны деревьев в различных типах леса (мг/л)

Тип леса	Порода, образующие подлог	Количество осадков (мм)	РН (преломленный)	Концентрации элементов при осадках < 10 и > 10 мм				Среднеподъемные концентрации элементов			
				Ca	Mg	K	N	Ca	Mg	K	N
Ельник-черничник, бересняк разнотравий и т. д.	Ель, бересняк	153 217	4.6—5.4 4.7—5.7	6.2; 3.7 0.5; 2.6	1.8; 1.3 0.2; 0.4	9.4; 2.5 1.0; 0.5	0.3; 0.9 4.0; 0.9	4.2 1.5	6.2 0.2	0.6 0.5	0.6 0.5

Примечание. Из данных содержания элементов в осадках под кронами деревьев исключено содержание элементов в осадках на открытом участке.

отдельных элементов из тканей растений, необходимо из количества данного элемента в осадках под кронами исключить количество его в осадках на открытом месте. Высчитанные таким образом данные анализа проб атмосферных осадков сводятся в таблицу (см. табл. 5).

Так как в концентрации отдельных элементов наблюдается известная зависимость от величины и интенсивности осадков, данные анализа проб осадков, выпавших в разные сроки, объединяются в две группы: при осадках меньше 10 мм и большие 10 мм. Среднеподъемные концентрации элементов высчитываются исходя из суммарного количества данного элемента, выщелоченного за весь период наблюдений (по данным учета и анализа отдельных дождей), и общего количества осадков, проникших сквозь короны на данном участке за тот же период.

Сопоставление концентраций отдельных элементов в осадках, прошедших сквозь короны, не дает возможности решить вопрос о том, действительно ли причиной большего или меньшего количества перешедших в раствор веществ являются свойства данной породы, ее податливость к выщелачиванию, а также влияние на эти свойства условий произрастания или же размеры выщелачивания обусловлены различным количеством органического вещества, омываемого дождевой водой. В естественных условиях этот вопрос может быть решен только приблизительно, на основании визуальных наблюдений. Более определенное представление может дать экспериментальная имитация выщелачивания — водные вытяжки из срезанных, но не поврежденных ветвей различных деревьев, с соблюдением одинакового соотношения между навеской ветвей и количеством воды при одном и том же времени их взаимодействия (табл. 6).

Потери веществ растениями под воздействием дождевой воды с биологической точки зрения — явление отрицательное. Для поддержания необходимого уровня интенсивности физиологических процессов растение вынуждено восстанавливать утраченные при выщелачивании вещества. Поэтому понижение выщелачивание веществ из растений при лучших условиях их произра-

Таблица 6  
Водная вытяжка из облистенных ветвей 28 VII 1959 (мг/л воды или мг/100 г сырой навески)

Порода	рН	Сухой остаток (г)	Оксислительность (O <sub>2</sub> )	Содержание химических элементов			
				Ca	Mg	K	N
Лиша . . .	6.6	164	128	10.8	1.8	8.5	2.6
Лещина . . .	6.1	282	256	25.2	10.6	20.0	3.3
и т. д.							

Примечание. Навеску 30 г свежих ветвей взбалтывали в 300 мл дистиллированной воды в течение 30 мин.

стания и вследствие этого более экономное использование питательных веществ, извлеченных из почвы, можно рассматривать как одну из причин их повышенной продуктивности. В то же время показано опыты Таки (Tukey a. oth., 1958), что растения, выращиваемые в условиях недостаточного снабжения питательными веществами, теряют их при выщелачивании больше, чем обеспеченные питанием.

Вычисление веществ при выщелачивании на единицу площади за весь период наблюдений дает возможность оценить его размеры и количество веществ, которые могут быть вновь вовлечены в биологический круговорот, а также сопоставить размеры выщелачивания веществ из надземных частей растений и из подстилки за тот же период.

В этих целях составляется примерно следующая таблица (табл. 7).

Следует обратить внимание на то, что данные по химическому составу дождевых вод, собранных на открытом пространстве, могут иметь самостоятельное значение. Так, исследованиями Н. И. Пьявченко и З. А. Сибиревой (1962) показано, что ежегодный круговорот химических элементов в некоторых типах болотных лесов (сосняк сфагновый) обусловлен исключительно поступлением химических элементов с атмосферными осадками.

К внутригодичным циклам биологического круговорота следует также относить циклы, обусловленные корневыми выделениями (Ремезов, 1960б). Явления выделения корнями углекислоты, солей, органических кислот, экзосмос катионов и других веществ известны очень давно, но количест-

Таблица 7  
Выщелачивание атмосферными осадками некоторых химических элементов из древесного полога и из подстилки в зависимости от типа леса за период с 13 VI по 12 IX 1960

Тип леса	Количество проникающих осадков (мм)	С крон деревьев				Из подстилки			
		Ca	Mg	K	N	Ca	Mg	K	N
Ельник-кисличиник палиторниковый . . .	188	3.0	1.1	8.3	1.2	111	22.4	3.9	1.0
Ельник-черничник . . .	153	6.5	2.4	9.5	0.9	95	1.3	0.5	2.5
и т. д.									

Примечание. Из данных содержания элементов в осадках под кронами исключено содержание элементов в осадках на открытом участке; из осадков, просочившихся сквозь подстилку, исключено содержание элементов в осадках под кронами деревьев.

венной оценки до сих пор не получено по причине неразработанности методики. Исследованиями установлена определенная периодичность в процессах взаимодействия корней с почвами: в начале вегетации преобладает поглощение, а в конце — выделение ряда химических элементов (Ахромейко, 1936; Рахтеенко, 1958; Борискина, 1959, и др.). Разработка методики для изучения внутригодичных циклов биологического круговорота, обусловленных корневыми выделениями, — неотложная задача.

К внутригодичным циклам биологического круговорота Н. П. Ремезов (1960б) относит также потребление элементов питания микроорганизмами и почвенными и подстильчими животными и возврат их в почву при отмирании. Продолжительность жизни микроорганизмов, а также многих организмов, населяющих подстилку (степной войлок), весьма невелика, и поглощенные ими химические элементы могут многократно вовлекаться в биологические циклы между почвой и растениями. Однако такого рода явления количественно совершенно еще не изучены.

#### Освобождение химических элементов из мертвых растительных остатков

При изучении биологического круговорота зольных элементов и азота весьма существенное значение имеет исследование хода и скорости разложения мертвых растительных остатков, поступающих с ежегодным опадом. Наблюдения показывают, что в ряде фитоценозов (леса boreального и умеренного пояса, остеинные луга, торфяные болота, сообщества тундр и др.) поступившее органическое вещество с опадом не успевает минерализоваться в этом же году и количество постепенно накапливающихся мертвых растительных остатков в сообществе может значительно превышать величину ежегодного опада.

По величине отношения мертвые растительные остатки ежегодный опад было предложено оценивать интенсивность биологического круговорота (Базилевич и Родин, 1964б). Практически, однако, вследствие недостаточности данных по полному учету мертвого органического вещества в фитоценозах приходится пользоваться отношением подстилка (степной войлок) листовой опад (или опад зеленой части). Подстилочно-опадный коэффициент может быть применен также к оценке скорости высвобождения из мертвых растительных остатков тех или иных химических элементов путем деления содержания того или иного химического элемента в подстилке (степном войлоке) на содержание того же элемента в листовом опаде или в опаде зеленой части.

Этот способ дает лишь общее представление о скорости разложения и выщелачивания тех или иных химических элементов из мертвых растительных остатков. Для того же, чтобы в полной мере количественно оценить убыль химических элементов при минерализации мертвых растительных остатков, необходимо периодическое (несколько раз за сезон) определение весов мертвых растительных остатков, подвергающихся разложению, например листового опада и подстилки (в подстилке определяются веса различных горизонтов). Также необходимо периодическое определение в те же сроки в тех же слоях состава и содержания химических элементов (а также биохимического состава, рН). По полученным данным можно установить сроки, к которым приурочена наибольшая интенсивность разложения мертвых остатков (Мина, 1954а, 1954б; Ремезов, 1961, и др.).

Однако эти материалы не дают возможности проследить дальнейшую судьбу химических элементов и установить, какая часть из них поступает в почву, какая выносится боковым или поверхностным стоком, какая вновь вовлекается в биологические циклы.

С целью определения количеств химических элементов, поступающих в почву из минерализующихся растительных остатков, возможно использование капрововых мешочеков, заполненных подстилкой и помещенных на ворошки, укрепленные на приемных сосудах. Возможны и другие модификации методики (Утенкова, 1956; Самойлова, 1961). В полученных фильтратах следует определять химические элементы, как находящиеся в ионной форме, так и входящие в подвижные комплексные органо-минеральные соединения, а также состав образующихся перегнойных кислот. Также следует изучать процессы разложения подземных органов растений. Однако эти вопросы исследованиями в количественном отношении почти не охвачены.

Дальнейшая судьба химических элементов, освобождающихся при минерализации мертвых растительных остатков, миграция или закрепление их в почвенном профиле, вынос за пределы почвенного профиля и т. д., может быть прослежена путем изучения состава почвенных растворов, лизиметрических вод, вод стоковых площадок и т. д..

#### МЕТОДИКА ЗОЛЬНОГО АНАЛИЗА РАСТЕНИЙ<sup>1</sup>

##### Подготовка растительного материала к анализу

При зольном анализе растений большое значение имеет предварительная подготовка материала: очистка его от посторонних примесей, высушивание, измельчение, взятие средней пробы и т. д. (Демьянов и Прянишников, 1934; Шестаков, 1940; Александрова, 1949).

Если растительный материал загрязнен или средняя пробы взята недостаточно тщательно, результаты получатся искаженные, даже если сам анализ сделан правильно. В зависимости от того, какое растение и какая часть его берется для анализа, подход как к самому анализу, так и к подготовке материала должен быть различным.

Листья и другие надземные части растений можно очищать от примесей с помощью мягкой щеточки или кусочка чистой материи, контролируя чистоту материала под лупой.

Значительно труднее удалить почвенные частицы, приставшие к корневой массе. [Лучше всего очистить корни механически и обмыть на сите спиртом, так как при отмывке их водой даже не утратившие тurgора корни частично теряют K, Cl и др.].

Однако полностью освободиться от минеральных примесей обычно все же не удается.

Совершенно невозможно полностью удалить почву из разложившегося растительного материала (лесная подстилка, войлок лугово-степной растительности и т. д.) [даже при отмывании ее спиртом].

Чтобы определить количество оставшихся в растительном материале минеральных примесей, растительность озолят в муфеле при 400—450°, растворяют золу в 5%-й HCl и отфильтрованный нерастворимый остаток обрабатывают 5%-м KOH для извлечения аморфной SiO<sub>2</sub>. Остаток от солянокислой и щелочной вытяжек принять считать «примесями». Однако не исключена возможность, что, кроме примесей, остаток может содержать иногда и зольные элементы, находящиеся в виде труднорастворимых соединений или образующие таковые при озолении. Аморфная кремнекислота также не всегда полностью извлекается 5%-м KOH, частично

<sup>1</sup> Этот раздел заимствован из брошюры В. М. Калужской «Руководство по зольному анализу растений» (1959). В текст внесены некоторые изменения (в квадратных скобках) в связи с пересмотром некоторых методик анализа, введением более современных методов (Н. Б. и Л. Р.).

оставаясь в нерастворимом остатке. Поэтому нерастворимые остатки следует сохранять и подвергать их в отдельных случаях особому исследованию.

Если растительный материал загрязнен минеральными примесями, то при обработке золы 5%-й HCl и 5%-м KOH в раствор переходит вместе с зольными элементами и некоторая часть примесей. Поэтому, если примесей много, необходимо сделать поправку на растворимость их в 5%-й HCl и 5%-м KOH (см. ниже, «Внесение поправки на растворимость минеральных примесей в 5%-й HCl и 5%-м KOH»).

Чтобы растительный материал мог сохраняться долгое время и чтобы его легче было измельчить, его следует высушить. Высушивать растения можно на воздухе или при повышенной температуре в термостате. Если предполагают изучать только зольный состав растений, на который деятельность ферментов не может оказать существенного влияния, высушивание можно начать сразу при 60—65°. Чтобы обеспечить вентиляцию и ускорить высушивание, дверцу термостата лучше держать приоткрытой.

Измельчение растительного материала облегчает взятие средней пробы для анализа, особенно если материал неоднородный и если приходится брать небольшие навески. Измельчение имеет также существенное значение для извлечения из растений различных элементов при мокром озолении или при электродиализе. Для сухого же озоления нет необходимости сильно измельчать материал, так как это только задержит процесс озоления (тонко измельченный материал плотнее ложится, что затрудняет доступ к нему воздуха).

Во избежание загрязнения там, где это возможно (листья, травянистые растения), лучше всего производить измельчение руками. Стебли и корни древесных растений можно распилить пилкой на небольшие куски и затем расколоть их в продольном направлении ножом. Если требуется тонко измельченный материал, растения сначала грубо измельчают ножницами, а затем размалывают более мелко на мельнице (если в пробе не предполагается определение Fe). Для ускорения измельчения материал, богатый клетчаткой, следует предварительно нагреть в термостате до 60°. Небольшие порции удается тонко растереть в агатовой ступке.

Вследствие неоднородности растительного материала отбор средней пробы иногда бывает затруднительным. Так, например, при взятии аналитической пробы из корневой массы корни различной толщины должны войти в пробу приблизительно в таких же соотношениях, в каких они находятся в исходном образце.

Ошибка при взятии средней пробы будет тем меньше, чем больше имеется исходного материала и чем большая навеска берется для анализа.

### Определение гигроскопической влаги

Из подготовленного к анализу воздушно-сухого растительного материала одновременно с навеской для озоления берется навеска (2—3 г) в блок для определения гигроскопической влаги (Демьянин и Прянишников, 1934; Шестаков, 1940). Высушивают растения в термостате при 100—105°, причем необходимо особенно строго следить, чтобы температура была все время постоянной.

Добиться постоянного веса при высушивании растительного материала бывает иногда очень трудно. Это объясняется тем, что, помимо удаления гигроскопической влаги, здесь обычно имеют место два процесса: 1) потеря летучих составных частей и продуктов распада и 2) поглощение кислорода вследствие окисления. Первый процесс приводит к уменьшению веса, а второй — к увеличению.

Пока материал содержит заметное количество влаги, эти процессы протекают сравнительно слабо, но по мере удаления влаги они приобретают все большую роль.

Поэтому вместо длительного высушивания до постоянного веса целесообразнее применять высушивание в течение определенного времени (4—5 час.) при строго определенной температуре или ограничиться двумя извещиваниями (1-е через 3 часа, 2-е через 2 часа).

Процент гигроскопической влаги вычисляется по формуле

$$\% \text{ гигроскопической влаги} = \frac{(a - b) \cdot 100}{a},$$

где  $a$  — вес навески до высушивания и  $b$  — вес навески после высушивания.

### Озоление растительного материала

Существуют два способа озоления растительного материала: мокрый и сухой.

Мокрое озоление осуществляется путем кипячения хорошо измельченного вещества с крепкими кислотами: серной, азотной, хлорной, смесь азотной с серной, азотной с добавлением перекиси водорода и т. д. Мокрое озоление считается более надежным при определении таких элементов, как сера, фосфор, калий и натрий, которые при сухом озолении могут частично улетучиваться. Однако опыт показывает, что при медленном осторожном озолении растительного материала в муфеле и нагревании золы при температуре не выше 400—450° существенных потерь фосфора, калия и натрия не происходит [более других теряются сера и хлор].

По сравнению с мокрым сухое озоление имеет ряд преимуществ:

1) позволяет сразу озолнить большое количество растительного материала;

2) не требует постоянного наблюдения, что необходимо при мокром озолении;

3) исключается возможность загрязнения за счет реагентов, применяемых при мокром озолении;

4) дает возможность определить общее количество зольных элементов;

5) применение мокрого озоления недопустимо при сильном загрязнении озоляемого материала минеральными примесями, так как за счет разложения этих примесей крепкими кислотами получатся неправильные данные о содержании зольных элементов.

При полном зольном анализе навеску растительного материала для сухого озоления следует брать с таким расчетом, чтобы получить 1—1.2 г золы.

Количество золы меняется:

1) в зависимости от типа растений (например, травы содержат большие золы, чем кустарники, а кустарники больше, чем деревья);

2) в пределах одного и того же растения — от того, какая часть его берется для анализа (например, более богаты золой листья, затем — стебли и менее всего — корни);

3) в зависимости от почвенных, агротехнических, климатических условий развития растений, от его возраста и т. д.

При озолении листьев, а также травянистых растений (выход золы в среднем 5—7%) можно брать навески 25—30 г. Наибольшие навески приходится брать при озолении стеблей и корней древесных растений, у которых выход золы обычно не превышает 2%, а иногда бывает и меньше 1%.

Как уже было сказано, для сухого озоления нет необходимости сильно изменять материал: чем мельче материал, тем плотнее он ложится, тем меньше доступ воздуха и тем медленнее идет озование. Кроме того, мелкие частицы могут легко распыляться выделяющимися при озании газами. Навески растительного материала лучше всего поместить в большие фарфоровые чашки (диаметр 12 см) и поставить их в холодный или слабо нагретый муфель, температуру которого постепенно повышают до 400—450° (контроль с термопарой).

В первый период озования происходит сухая перегонка вещества и внутренняя поверхность чашки покрывается темно-бурым налетом. Если с самого начала вести озование при высокой температуре, то вследствие бурного выделения продуктов перегонки могут произойти механические потери навески. Кроме того, часть фосфора, входящего в образовавшиеся при озании фосфорнокислые соли, может в присутствии угля и при высокой температуре восстановиться до свободного фосфора и улетучиться.

При медленном и постепенном повышении температуры темный налет на чашке исчезает и зола светлеет. Нагревание золы при температуре выше 400—450° не рекомендуется, так как, помимо частичной потери фосфора, калия и натрия, в этих условиях могут образоваться труднорастворимые соединения. Если зола содержит большие количества кремнекислых или фосфорнокислых солей (например, зола соломы и семян злаков), то эти соли могут обволакивать еще не сгоревшие частицы и тем самым препятствовать их полному озению. В этом случае чашку охлаждают, осторожно приливают в нее небольшое количество дистиллированной воды или разбавленной перекиси водорода (при этом соли растворяются, а углистые частицы всплывают), содержимое чашки высушивают и чашку снова ставят в муфель.

В зависимости от состава зола может быть белого, серого, буроватого, зеленоватого, а в присутствии больших количеств марганца даже темно-бурого цвета (например, зола листьев чайного куста).

Так как взвешивать золу в больших чашках неудобно (они занимают много места), то после полного сгорания угля и уменьшения объема озляемого вещества золу можно количественно перенести во взвешенные платиновые чашки (или большие фарфоровые тигли) и довести ее в них при той же температуре (400—450°) до постоянного веса. Однако и в открытых платиновых чашках точно взвесить большие количества золы обычно не удается, так как вес ее все время возрастает [вследствие процессов окисления и др.]. Поэтому, чтобы точнее взять навески золы для анализа, ее лучше перенести перед этим во взвешенные бюксы с крышками и снова довести до постоянного веса, нагревая в термостате при 105—110°. Если есть уверенность в полном озении растительного материала, золу можно перенести в бюксы прямо из больших фарфоровых чашек, избегая перевозки ее в платиновые чашки.

Ввиду больших навесок растительного материала незначительные потери золы при аккуратном ее переносе почти не отразятся на выходе золы.

#### Определение количества золы

В результате сухого озования получается так называемая «сырая» зола: помимо зольных элементов, она обычно содержит минеральные примеси и углекислоту, так как при разрушении органического вещества кальций, магний, калий и натрий частично образуют карбонаты.

Выход «сырой» золы ( $A_1$ ) в процентах на растительный материал, высушенный при 105°, вычисляется по формуле

$$A_1 = \frac{a \cdot 100 \cdot 100}{B \cdot (100 - C)},$$

где  $a$  — вес «сырой» золы,  $B$  — навеска воздушно-сухого растительного материала,  $C$  — % гигроскопической влаги, следовательно,  $\frac{100}{100 - C}$  — коэффициент пересчета на растительное вещество, высушенное при 105° (2-я сотня в числителе — для пересчета на процентное содержание).

Чтобы вычислить количество «чистой» золы, нужно определить в «сырой» золе минеральные примеси (нерасторимый в 5%-й HCl и 5%-м KOH остаток) и углекислоту.

Выход «чистой» золы ( $A_2$ ) будет равен выходу «сырой» золы ( $A_1$ ), умноженному на  $\frac{100 - (m + n)}{100}$ , где  $m$  — % минеральных примесей и  $n$  — % углекислоты в пересчете на «сырую» золу:

$$A_2 = A_1 \frac{100 - (m + n)}{100}.$$

Для вычисления  $A_2$  в процентах на растительное вещество без примесей нужно  $A_1$  умножить еще на  $\frac{100}{100 - m_1}$ , где  $m_1$  — % примесей в пересчете на растительное вещество,  $m_1 = m \frac{A_1}{100}$  (см. ниже, «Определение минеральных примесей»):

$$A_2 = A_1 \frac{100 - (m + n)}{100} \cdot \frac{100}{100 - m_1} = A_1 \frac{100 - (m + n)}{100 - m_1}.$$

При незначительном содержании примесей последней поправкой можно пренебречь.

#### Определение CO<sub>2</sub> в золе

Доведенную до постоянного веса золу высыпают из бюкса (целиком или частично в зависимости от полученного количества золы) в колбу от прибора Кнопа, после чего бюкс снова взвешивают. Желательно, чтобы взятая таким образом по разности навеска составляла бы 1—1.2 г. В колбу приливают 25—30 мл дистиллированной воды и, не присоединяя поглотительных трубок, пропускают через прибор около часа воздух, лишенный углекислоты. Затем присоединяют к прибору взвешенные поглотительные трубы, заполненные на  $\frac{2}{3}$  аскаритом и на  $\frac{1}{3}$  хлористым кальцием, и постепенно приливают через делительную воронку в колбу с золой 25—30 мл 10% HCl (конечная концентрация HCl в колбе должна быть 5%). Выделяющаяся CO<sub>2</sub> отсасывается с помощью водоструйного насоса (Гедрайц, 1955).

Включив холодильник, жидкость в колбе медленно нагревают на небольшом пламени и постепенно доводят до кипения. Прекратив нагревание, продолжают около часа пропускать через прибор воздух, лишенный CO<sub>2</sub>. Затем поглотительные трубы снимают и взвешивают.

Содержание CO<sub>2</sub> вычисляется в процентах на сырую золу:

$$\% \text{CO}_2 = \frac{(A_1 + A_2) \cdot 100}{B},$$

где  $A_1$  и  $A_2$  — привесы 1-й и 2-й поглотительных трубок и  $B$  — навеска «сырой» золы (привес 2-й трубы должен быть незначительным).

При определении  $\text{CO}_2$  в золе с большим содержанием марганца (например, зола различных частей чайного куста) в кали-аппарате с раствором сернокислого серебра обычно появляется сильная муть. Это объясняется тем, что все окислы марганца, за исключением  $\text{MnO}$ , растворяясь при нагревании в соляной кислоте, выделяют свободный хлор.

В этом случае для полного поглощения  $\text{Cl}$  следует поместить в прибор второй кали-аппарат с раствором сернокислого серебра (Калужская, 1956).

#### Реактивы

1. Железная проволока или железные опилки, помещенные в U-образную трубку для поглощения паров соляной кислоты.
2. Насыщенный раствор сернокислого серебра в серной кислоте (1 : 1) в кали-аппарат для поглощения хлора.
3. Концентрированная серная кислота в кали-аппарат для высушивания выделяющейся углекислоты.
4. Аскарит.
5. Хлористый кальций для поглотительных трубок.
6. 10%-я соляная кислота.

#### [Определение $\text{CO}_2$ в золе по Штатнову в модификации Козловского]

Подсушенная в блоке зола (около 1 г) помещается в пробирку, взвешивается вместе с пробиркой и переносится по разности через воронку в колбу Эрленмейера на 500 мл (под пробку № 36). Золу ссыпают в кучку, чтобы реакция не протекала слишком бурно. В колбу ставится пинцетом или с помощью стеклянной палочки с резиновым наконечником тигель № 2 низкий и короткая пробирка диаметром 25 мм и длиной 9—10 см. В пробирку наливается 10 мл титрованной 1н.  $\text{NaOH}$ , а в тигель 10 мл 10%-й  $\text{HCl}$ . Колба закрывается пробкой. Далее тигель резким движением колбы опрокидывается таким образом, чтобы раствор  $\text{NaOH}$  из пробирки не вылился и чтобы зола не распылилась по колбе. Через 0.5 часа зола перемешивается с  $\text{HCl}$ , и колба оставляется на сутки или на 2 дня для поглощения выделившейся  $\text{CO}_2$  щелочью, которая находится в пробирке. Затем пробирку вынимают и прибавляют в нее 2—3 мл 10%-й  $\text{BaCl}_2$  и две капли фенолфталеина и быстро оттитровывают щелочь раствором 0.2н.  $\text{HCl}$  до исчезновения розового окрашивания. Параллельно титруют 0.2н.  $\text{HCl}$  раствор 1н. щелочи с таким же количеством  $\text{BaCl}_2$  (10 мл 1н.  $\text{NaOH}$  + 2—3 мл  $\text{BaCl}_2$ ).

Предположим, что на титрование щелочи в контроле уходит 19.9 мл 0.2н.  $\text{HCl}$ , а на титрование раствора щелочи, поглотившей  $\text{CO}_2$  пробы, — 13.9 мл  $\text{HCl}$ . Вычитая 13.9 из 19.9, получим 6 мл, связанных с  $\text{CO}_2$ .

Следовательно,

$$\% \text{CO}_2 = \frac{6 \cdot 0.0044}{\text{навеска сырой золы}}.$$

(Молекулярный вес  $\text{CO}_2$  — 44, эквивалентный вес —  $\frac{22}{1000} = 0.022$ . Следовательно, в 1 мл содержится 0.022 мг.-экв.  $\text{CO}_2$ . Так как при титровании бралась 0.2 н.  $\text{HCl}$ , коэффициент будет равен  $0.022 \cdot 0.2 = 0.0044$ ).

Поглощение  $\text{CO}_2$  щелочью происходит по реакции  $2\text{NaOH} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . При прибавлении  $\text{BaCl}_2$  происходит реакция  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{BaCl}_2 = 2\text{NaCl} + \text{BaCO}_3$  (осадок).

В случае большого количества  $\text{CO}_2$  и связывания всего  $\text{NaOH}$  реакция идет с образованием  $\text{NaHCO}_3$  по схеме  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHCO}_3$ .

При наличии в растворе  $\text{NaHCO}_3$  при прибавлении  $\text{BaCl}_2$  происходит следующая реакция:  $2\text{NaHCO}_3 + \text{BaCl}_2 = 2\text{NaCl} + 2\text{HCl} + \text{BaCO}_3$ ;  $\text{BaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ , и при прибавлении фенолфталеина окрашивания не наблюдается.

В этом случае в пробирку следует добавить точно 2 мл 1н.  $\text{NaOH}$ , избытком которой оттитровывается кислотой. Параллельно оттитровывается 0.2 н.  $\text{HCl}$  12 мл 1н.  $\text{NaOH}$  (контроль). При расчетах во внимание следует принимать разность, полученную при вычитании из количества мл 0.2 н.  $\text{HCl}$ , пошедшей на титрование 12 мл 1н.  $\text{NaOH}$ , числа мл  $\text{HCl}$ , пошедшего на титрование пробы.

Если от прибавления 2 мл  $\text{NaOH}$  раствор в пробирке не порозовеет, то анализ необходимо переделать, взяв большее количество щелочи.]

#### Определение минеральных примесей (нерасторимого в 5%-й $\text{HCl}$ и 5%-м $\text{KOH}$ остатка)

Солянокислый раствор,<sup>2</sup> полученный после определения углекислоты, фильтруют, и нерастворимый остаток промывают горячей водой. Фильтрат и промывные воды сохраняют для дальнейшего анализа (см. ниже, «Определение кремнекислоты в солянокислом растворе»).

При большом содержании в золе марганца часть его может остаться нерастворенной в виде темно-бурого осадка. Чтобы полностью растворить его, к нагретому солянокислому раствору перед фильтрованием нерастворимого остатка нужно прибавить несколько капель перекиси водорода (Калужская, 1956).

Если нерастворимый в 5%-й  $\text{HCl}$  остаток велик, что бывает при наличии большого количества аморфной кремнекислоты, а также минеральных примесей, его смывают с фильтра в стакан на 100—150 мл и выпаривают жидкость на водяной бане. Фильтр со следами нерастворимого остатка озолят в фарфоровом тигле при 400—450° и присоединяют к нерастворимому остатку в стакане. Если нерастворимый остаток незначителен, его можно озолить целиком. В стакан приливают 25—30 мл 5%-й  $\text{KOH}$  и, накрыв стакан часовым стеклом, кипятят содержимое его в течение 20 мин. Если объем жидкости сильно изменится, следует добавить дистиллированной воды.

Опыт показал, что 5%-й  $\text{KOH}$  извлекает аморфную кремнекислоту полнее, чем 10%-я  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Необходимо только во взятом объеме 5%-го  $\text{KOH}$  определить кремнекислоту, которая почти всегда содержится в едких щелочах. Нерастворимый в 5%-м  $\text{KOH}$  остаток отфильтровывают и отмывают от щелочи горячей водой (проба с фенолфталеином). При промывании нерастворимого остатка после щелочной вытяжки в промывных водах часто появляется муть. Поэтому, как только щелочная вытяжка отфильтруется, фильтрат сразу же следует перенести в фарфоровую чашку, подкислить его  $\text{HCl}$  и поставить выпаривать на водяную баню (см. ниже, «Определение  $\text{SiO}_2$  в щелочной вытяжке»). Прозрачные или слабо опалесцирующие промывные воды присоединяются к фильтрату. Если муть в промывных водах значительна, ее нужно сконцентрировать, прокипятить промывные воды с добавлением нескольких капель  $\text{HCl}$ , и, отфильтровав свернувшийся осадок, присоединить его к нерастворимому остатку. Фильтр с нерастворимым остатком озолят во взвешенном тигле и прокаливают при 400—450° до постоянного веса.

<sup>2</sup> [Если определение  $\text{CO}_2$  производилось по Штатнову в модификации Козловского, навеску золы 1—1.2 г помещают в колбу; затем приливают 25 мл дистиллированной воды, а далее через делительную воронку постепенно добавляют 25—30 мл 10%-й  $\text{HCl}$ . Колбу медленно нагревают, доводя ее содержимое до кипения; кипятят около 1 часа].

Содержание минеральных примесей в процентах от «сырой» золы ( $m$ ) вычисляется по формуле

$$m = \frac{a \cdot 100}{B},$$

где  $a$  — вес нерастворимого в 5%-й HCl и 5%-м KOH остатка,  $B$  — навеска «сырой» золы.

Чтобы получить процентное содержание минеральных примесей в пересчете на растительное вещество ( $m_1$ ), нужно  $m$  умножить на  $\frac{A_1}{100}$ , где  $A_1$  — выход «сырой» золы:

$$m_1 = m \cdot \frac{A_1}{100} = \frac{a \cdot 100}{B} \cdot \frac{A_1}{100} = \frac{a A_1}{B}.$$

[Если нерастворимый остаток в 5%-й KOH-вытяжке велик и нет уверенности, что он состоит целиком из минеральных примесей (это может иметь место в золе злаков, опада, подстилок, богатых кремнеземом), его просматривают под поляризационным микроскопом. При этом подсчитывается количество достаточно хорошо отличимых фитолитов (в %). Затем этот процент берется от веса всего нерастворимого остатка и прибавляется к весу кремнезема, определенного в щелочной вытяжке. Соответственно вес и доля минеральных примесей в золе уменьшаются на эту величину].

#### Определение $\text{SiO}_2$ в щелочной вытяжке

Щелочная вытяжка и промывные воды (см. выше, «Определение минеральных примесей»), подкисленные соляной кислотой, выпариваются в фарфоровой чашке на водяной бане досуха.

Если аморфной кремнекислоты много (например, при анализе злаковых растений), то в начале выпаривания выпадает объемистый студенистый гель, который при дальнейшем высушивании переходит в порошкообразное состояние.

Сухой остаток растирают стеклянной палочкой с расплющенным концом и 2–3 раза обрабатывают концентрированной соляной кислотой, высушивая каждый раз на водяной бане до полного исчезновения запаха HCl. Затем содержимое чашки растворяют в горячей воде с добавлением HCl, осадок  $\text{SiO}_2$  отфильтровывают и промывают горячей водой до исчезновения в промывных водах реакции на Cl-ион. Фильтр с осадком озолят во взвешенном тигле и прокаливают в муфеле при 600–700° до постоянного веса.

Содержание кремнекислоты и других зольных элементов вычисляют в процентах на «чистую» золу или в процентах на растительное вещество, высущенное при 105°, в виде окислов или в виде элементов. Навеску «чистой» золы получают, вычитая из навески «сырой» золы вес примесей и углекислоты:

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{(a_1 - a_2) \cdot 100}{B},$$

где  $a_1$  — вес  $\text{SiO}_2$  в щелочной вытяжке (без поправки на щелочь),  $a_2$  — вес  $\text{SiO}_2$  во взятом объеме 5%-го KOH,  $B$  — навеска «чистой» золы.

[К полученному %  $\text{SiO}_2$  прибавляют %  $\text{SiO}_2$ , установленный в примесях под микроскопом].

<sup>3</sup> [За вычетом %  $\text{SiO}_2$  фитолитов, установленного при исследовании нерастворимого остатка под микроскопом.]

Для пересчета на сухое растительное вещество умножают на  $\frac{A_2}{100}$ , где  $A_2$  — выход «чистой» золы. Коэффициент перевода  $\text{SiO}_2$  в Si — 0.4672.

Определение аморфной кремнекислоты по разнице между весом нерастворимого остатка до и после обработки его 5%-м KOH дает повышенные результаты по сравнению с непосредственным определением  $\text{SiO}_2$ . Это можно объяснить тем, что нерастворимый остаток прокаливается при температуре 400–450°, при которой аморфная кремнекислота не полностью теряет свою кристаллизационную воду.

#### Определение $\text{SiO}_2$ в солянокислом растворе

Солянокислый раствор и промывные воды после отфильтровывания нерастворимого в 5%-й HCl остатка также выпариваются на водяной бане досуха, и растертый сухой остаток 2–3 раза обрабатывается концентрированной соляной кислотой.

При содержании в золе большого количества кальция для полного высушивания сухого остатка на водяной бане требуется значительное время вследствие гигроскопичности образовавшегося хлористого кальция. Однако к высушиванию в термостате при 110–120°, как это часто рекомендуется, прибегать не следует, так как это приводит к загрязнению  $\text{SiO}_2$  примесями и, кроме того, сообщает кремнекислоте неприятное свойство проходить при промывании через поры фильтра в виде коллоидальной белой мути.

Высушенный остаток смачивают концентрированной соляной кислотой и, накрыв чашку часовым стеклом, оставляют стоять в течение 10–15 мин. Затем в чашку приливают горячую дистиллированную воду. Осадок  $\text{SiO}_2$  отфильтровывают, промывают и озолят во взвешенном тигле (отдельно или вместе с  $\text{SiO}_2$  из щелочной вытяжки). Содержание  $\text{SiO}_2$  в солянокислом растворе бывает обычно незначительным. Фильтрат и промывные воды собирают в мерную колбу (500 или 250 мл), и из этого раствора берут аликовые части для определения различных зольных элементов.

#### Определение фосфора

Зола растений содержит те же элементы, что и почва, но соотношение этих элементов иное. Так, например, количество фосфора в золе значительно превышает содержание железа и алюминия, что затрудняет их определение. Поэтому перед осаждением  $\text{P}_2\text{O}_5$  следует предварительно определить содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

В разных органах растений фосфор распределен неравномерно: больше всего его содержится в семенах, затем — в листьях, меньше — в стеблях. Молодые органы богаче фосфором по сравнению со старыми. Содержание фосфора сильно колебляется у растений разных видов.

Так как содержание фосфора в золе бывает обычно высоким, то для колориметрического его определения приходится брать очень незначительную часть из фильтрата после выделения  $\text{SiO}_2$  или сильно разбавлять раствор, что может отразиться на точности определения. Более подходящим является весовой метод определения  $\text{P}_2\text{O}_5$  по Лоренцу (Гердройц, 1955).

Если содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  не превышает 5% от «чистой» золы, то при навеске золы около 1 г из мерной колбы на 500 мл можно взять для определения 100 мл фильтрата после выделения  $\text{SiO}_2$ , при 5–10%  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 50 мл и при 10–20%  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 25 мл.

Взятую для определения часть фильтрата доводят до объема 25 мл и прибавляют туда 25 мл смеси азотной и серной кислот (о приготовлении реактивов см. ниже). Раствор нагревают до появления первых пузырьков и, не применяя стеклянной палочки, приливают в середину стакана 50—60 мл сульфат-молибденовой жидкости. Накрытый стеклом стакан оставляют стоять 12—18 час., после чего содержимое его фильтруют с помощью водоструйного насоса через тигель Нуча № 4. Осадок промывают несколько раз 2%-м раствором азотокислого аммония, подкисленным  $\text{HNO}_3$ , перенося его количественно в тигель. После этого в тигель наливают спирт, один раз доверху и два раза до половины, каждый раз отсасывая жидкость, а затем эфир, также один раз доверху и два раза до половины. Каждую новую порцию эфира надо приливать тотчас же после отфильтровывания предыдущей, не давая осадку высыхать.

Тигель с осадком сушат в термостате при 45° в течение 30—40 мин., охлаждают в экскаторе без хлористого кальция и серной кислоты (или в бюксе с крышкой) и немедленно взвешивают.

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{a \cdot 0.03295 \cdot n \cdot 100}{B},$$

где  $a$  — вес осадка, 0.03295 — коэффициент перевода полученного сложного осадка в  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\frac{1}{n}$  — часть фильтрата, взятая для определения,  $B$  — навеска «чистой» золы.

Для пересчета на сухое растительное вещество умножают на  $\frac{A_2}{100}$  ( $A_2$  — выход «чистой» золы), а для перевода  $\text{P}_2\text{O}_5$  в Р — на коэффициент 0.4368.

### Реактивы

1. Смесь азотной и серной кислот: 30 мл серной кислоты (уд. в. 1.84) на 1 л азотной кислоты (уд. в. 1.20).

#### 2. Сульфат-молибденовая жидкость.

К 100 г чистого сухого сернокислого аммония приливают 1 л азотной кислоты (уд. в. 1.36) и взвалтывают до растворения сульфата. Далее в литровой колбе растворяют горячей водой 300 г чистого молибденокислого аммония, доводят объем раствора приблизительно до четверти. По охлаждении доливают точно до четверти и переливают этот раствор тонкой струйкой при помешивании в раствор сульфата в азотной кислоте. Смесь оставляют стоять при комнатной температуре не меньше чем на 48 час. и перед употреблением фильтруют через плотный фильтр. В зависимости от количества определяемых порций смеси можно уменьшить в 2—4 раза.

3. Двухпроцентный водный раствор чистого азотокислого аммония, подкисленный несколькими каплями азотной кислоты на 1 л жидкости.

4. Спирт этиловый (90—95%) не должны иметь щелочную реакцию и при испарении оставлять осадок.

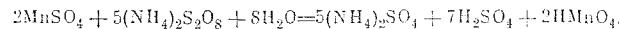
### Определение марганца

Большие количества марганца, встречающиеся в некоторых растениях (чайный куст, рододендрон и др.), также осложняют зольный анализ, так как марганец осаждается вместе с полуторными окислами, кальцием и магнием.

Если растительный материал содержит много фосфора, большая часть марганца осаждается в виде фосфата при осаждении полуторных окислов аммиаком. При незначительном содержании фосфора марганец проходит главным образом в осадок магния в виде пирофосфата, при этом цвет прокаленного осадка остается белым; между тем даже незначительные количества марганца, попадающие в осадок кальция, окрашивают его

в бурый цвет. Поэтому при анализе богатого марганцем растительного материала целесообразно перед осаждением полуторных окислов, кальцием и магнием определить содержание марганца.

Наиболее распространенным методом определения марганца является колориметрический метод, основанный на окислении сернокислого марганца надсернокислым амmonием в марганцевую кислоту по уравнению



При незначительном содержании марганца из мерной колбы на 500 мл можно взять для определения 50—100 мл фильтрата после выделения  $\text{SiO}_2$ , а при высоком содержании — 10—25 мл. Взятую для определения часть фильтрата выпаривают в фарфоровой чашке на водяной бане до суха, и сухой остаток дважды обрабатывают концентрированной азотной кислотой для удаления  $\text{HCl}$  (каждый раз выпаривая досуха). В присутствии иона хлора образуется хлористый марганец и окисление марганца в марганцевую кислоту не происходит.

Затем в чашку приливают разбавленную серную кислоту с таким расчетом, чтобы концентрация ее перед окислением марганца была бы приблизительно 5%-й. Если предполагают проводить окисление в объеме 100 мл, можно прибавить 10 мл разбавленной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , в которой на 3 части концентрированной серной кислоты приходится 7 частей воды. Нагреванием с  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на водяной бане удаляют  $\text{HNO}_3$ . Выпаривание на песчаной бане излишне, так как следы  $\text{HNO}_3$  не мешают определению. Остаток после выпаривания разбавляют водой, и в чашку прибавляют на кончике пера (или в растворе)  $\text{AgNO}_3$ .

Ион серебра является катализатором при окислении марганца и, кроме того, осаждает могущие оставаться следы хлора. Если от прибавления  $\text{AgNO}_3$  появляется муть, содержимое чашки нагревают еще некоторое время на водяной бане, пока осадок не свернется, а затем фильтруют, лучше всего в колбу Эрленмейера. В приготовленный таким образом раствор вносят при нагревании небольшими порциями сухой персульфат аммония, до тех пор пока окраска раствора не станет устойчивой. По охлаждении раствор переносят, в зависимости от интенсивности окраски, в мерную колбу (того или иного объема), доводят до метки и сравнивают с образцовым раствором в фотоэлектроколориметре.

Проводить окисление сразу в мерных колбах, как это часто делается, не следует, так как содержание марганца в растениях иногда сильно колеблется, и нельзя заранее предвидеть, до какого объема придется разбавлять испытуемый раствор. Кроме того, от частого нагревания объем мерных колб может измениться.

При избытке марганца во время окисления часто образуется бурый осадок  $\text{MnO}(\text{OH})_2$ ; его нужно растворить прибавлением нескольких капель перекиси водорода,<sup>4</sup> разбавить обесцвеченный раствор 5%-й серной кислотой и вновь окислить марганец персульфатом аммония. Если бурый осадок все же будет выпадать, обесцвеченный раствор надо перенести в мерную колбу и для определения взять только часть его (Калужская, 1956).

Образцовый раствор можно приготовлять из титрованного раствора перманганата. При приготовлении шкалы для фотоэлектроколориметра удобнее всего пользоваться 0.01 н. или 0.02 н.  $\text{KMnO}_4$ ; 1 мл точного 0.01 н.  $\text{KMnO}_4$  содержит 0.0001418 г  $\text{MnO}$ ; умножая 0.1418 · 10<sup>3</sup> на поправку, получаем количество  $\text{MnO}$  в 1 мл взятого раствора перманганата. В мер-

<sup>4</sup> В кислой среде  $\text{H}_2\text{O}_2$  восстанавливает четырехвалентный марганец до двухвалентного, окисляясь до свободного кислорода:  $\text{MnO}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{MnSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ .

ные колбы на 100 или 200 мл берут из бюретки 1, 2, 3 мл и т. д. раствора  $\text{KMnO}_4$ , разбавляя водой до метки. Откладывая на оси абсцисс количество миллилитров раствора  $\text{KMnO}_4$  в 100 мл, а на оси ординат соответствующее количество милливольт, получаем кривую.

Если для определения взята  $\frac{1}{n}$  часть навески  $B$ , исследуемый раствор доведен до 100 мл, количество милливольт, полученное для исследуемого раствора, соответствует  $t$  мл раствора  $\text{KMnO}_4$ , в 1 мл которого содержится  $a$  граммов  $\text{MnO}$ , то  $\% \text{MnO} = \frac{a \cdot t \cdot n \cdot 100}{B}$ .

Если исследуемый раствор доведен до 200 мл, 250 мл и т. д., то нужно еще соответственно умножить на 2, 2.5 и т. д.

Для пересчета на сухое растительное вещество умножают на  $\frac{A_2}{100}$  ( $A_2$  — выход «чистой» золы), а для перевода  $\text{MnO}$  в  $\text{Mn}$  — на коэффициент 0.7744.

#### Реактивы

1. Концентрированная азотная кислота.
2. Разбавленная серная кислота: 3 части  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 7$  частей  $\text{H}_2\text{O}$ . При прибавлении на каждые 100 мл раствора по 10 мл такой разбавленной кислоты концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$  получается приблизительно 5%-я.
3. Азотокислое серебро.
4. Персульфат аммония (надсернокислый аммоний).
5. Титрованный раствор перманганата калия.

#### Осаждение полуторных окислов аммиаком

Для определения полуторных окислов, кальция и магния можно взять 100 мл из 500 мл фильтрата после выделения кремниекислоты. Если предполагают осаждать полуторные окислы аммиаком, необходимо предварительно связать всю фосфорную кислоту, прибавляя к исследуемому раствору раствор хлорного железа.

2.5—3 г  $\text{FeCl}_3$  растворяют в 500 мл 1%-й  $\text{HCl}$ , раствор фильтруют и в точно отмеренной части его определяют весовым методом содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Одна молекула  $\text{P}_2\text{O}_5$  связывается с одной молекулой  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :  $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2\text{FePO}_4$ .

Молекулярный вес  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 142.04, молекулярный вес  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 159.68. Обозначая через  $p$  количество  $\text{P}_2\text{O}_5$  в граммах во взятой для определения части навески и через  $K$  количество  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в граммах, необходимое для связывания  $\text{P}_2\text{O}_5$ , можно составить пропорцию:

$$142.04 - 159.68 \\ p - K, \quad \text{откуда } K = p \frac{159.68}{142.04}.$$

Если для определения взята  $\frac{1}{n}$ -я часть навески  $B$ , а  $\% \text{P}_2\text{O}_5$  от «чистой» золы обозначить через  $P$ , то  $p = \frac{P \cdot B}{100 \cdot n}$ .

Зная содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в 1 мл раствора  $\text{FeCl}_3$  —  $t$ , можно вычислить необходимое для связывания  $\text{P}_2\text{O}_5$  количество миллилитров раствора  $\text{FeCl}_3$  —  $m$ :  $m = \frac{K}{t}$ .

Раствор  $\text{FeCl}_3$  лучше брать с небольшим избытком, отмеряя его пипеткой или бюреткой.

(Если содержание  $\text{R}_2\text{O}_3$  заведомо превышает содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$ , прибавление раствора  $\text{FeCl}_3$  излишне).

После добавления  $\text{FeCl}_3$  исследуемый раствор нагревают до кипения и осаждают  $\text{R}_2\text{O}_3$  10%-м  $\text{NH}_4\text{OH}$  по метилпроту (или до слабого запаха аммиака). Осадок отфильтровывают через рыхлый фильтр с красной обмоткой и промывают 2—3 раза горячей водой с добавлением  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , после чего его переносят вместе с фильтром в стакан, в котором произошло осаждение, и растворяют в горячей воде, подкисленной  $\text{HNO}_3$ . Фильтр размельчают с помощью стеклянной палочки, раствор нагревают и вновь осаждают  $\text{R}_2\text{O}_3$  аммиаком. Отфильтрованный осадок промывают горячей водой с  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  до исчезновения в промывной жидкости реакции на хлор (оба фильтра и промывные воды соединяются вместе), озолят во взвешенном платиновом тигле и прокаливают до постоянного веса.

$$\% \text{R}_2\text{O}_3 = \frac{(a - K) n \cdot 100}{B} - \% \text{P}_2\text{O}_5,$$

где  $a$  — вес осадка,  $K$  — вес  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в прибавленном растворе  $\text{FeCl}_3$ ,  $B$  — навеска «чистой» золы,  $\frac{1}{n}$  — часть навески, взятая для определения.

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = \% \text{R}_2\text{O}_3 - \% \text{Fe}_2\text{O}_3$$

( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  определяется колориметрически в отдельной порции фильтрата — см. ниже, «Определение  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ »).

Если зола содержит много марганца, прокаленный осадок после взвешивания сплавляют с кислым сернокислым калием, сплав растворяют в 5%-й серной кислоте и в полученным растворе определяют марганец колориметрически персульфатным методом (см. выше). Так как в присутствии большого количества фосфорной кислоты марганец осаждается аммиаком в виде фосфата ( $3\text{MnO} + \text{P}_2\text{O}_5 = \text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$ ), то из осадка  $\text{R}_2\text{O}_3$  он вычитается в виде  $\text{MnO}$ .

Таким образом, при осаждении полуторных окислов аммиаком в присутствии больших количеств фосфорной кислоты и марганца получается осадок сложного состава, в который вместе с алюминием входят железо, содержащееся в золе, железо, прибавленное с раствором  $\text{FeCl}_3$ , фосфорная кислота и марганец. Все это делает определение алюминия по разности не вполне надежным (Калужская, 1956).

#### Реактивы

1. Раствор  $\text{FeCl}_3$  с определенным содержанием в нем  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (о приготовлении см. выше).
2. 10%-й аммиак.
3. 2%-й раствор азотокислого аммония.
4. Азотная кислота.

#### Определение железа

Колориметрический метод определения железа в виде роданида. Содержание железа в золе растений обычно бывает невысоким, поэтому для определения его можно пользоваться колориметрическими методами (Александрова, 1949). К числу таких методов относится метод определения железа в виде окрашенного в красный цвет соединения его с  $\text{CNS}'$ . Так как интенсивность окраски роданида зависит от количества прибавленного  $\text{KCNS}$  и от содержания кислоты в растворе, необходимо прибавлять во все исследуемые и образцовые растворы одинаковые количества  $\text{KCNS}$  и кислоты.

10—25 мл из 500 мл фильтрата после выделения кремниекислоты помещают в мерную колбу на 100 мл и разбавляют водой до 80—90 мл. Затем в колбу прибавляют 5 мл  $\text{HNO}_3$  (30 мл  $\text{HNO}_3$  удельного веса 1.4

разводят водой до 100 мл) и 5 мл 10%-го KCNS (или  $\text{NH}_4\text{CNS}$ ), после чего содержимое колбы доводят до метки. Раствор KCNS следует прибавлять непосредственно перед просмотром в колориметре или фотоколориметре.

Образцовый раствор приготавливают из железоаммиачных квасцов: 6 г  $\text{Fe}(\text{NH}_4\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  растворяют в дистиллированной воде с добавлением HCl (для получения прозрачного раствора) и доводят до 1 л. 1 мл такого раствора содержит примерно 1 мг  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . При приготовлении шкалы для фотоэлектроколориметра можно разбавить этот раствор в 40 раз и взять от 2 до 10 мл разбавленного раствора на 100 мл. Предварительно необходимо точно определить содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в образцовом растворе весовым методом (осаждение аммиаком). Образцовые растворы обрабатываются так же, как и исследуемые.

Если для определения взята  $\frac{1}{n}$ -я часть павески  $B$ , а количество милливолт, полученное для исследуемого раствора, соответствует  $m$  мл образцового раствора, в 1 мл которого содержится  $a$  граммов  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , то

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{a \cdot m \cdot n \cdot 100}{B}.$$

Для пересчета на сухое растительное вещество умножают на  $\frac{A_2}{100}$  (где  $A_2$  — выход «чистой» золы), а для перевода  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в Fe — на коэффициент 0.6994.

Большие количества фосфорной кислоты и алюминия влияют на интенсивность окраски роданида.

#### Р е а к т и в ы

1. Азотная кислота: 30 мл азотной кислоты (уд. в. 1.4) разводят водой до 100 мл.
2. 10%-й KCNS (или  $\text{NH}_4\text{CNS}$ ).
3. Образцовый раствор: 6 г  $\text{Fe}(\text{NH}_4\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  растворяют с добавлением HCl в 1 л воды, и в полученным растворе определяют весовым методом содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Колориметрическое определение железа с сульфосалициловой кислотой.** Если зола содержит незначительное количество марганца, лучше применять колориметрический метод определения железа с сульфосалициловой кислотой. Этот метод основан на образовании в щелочном растворе окрашенного в желтый цвет соединения железа с сульфосалициловой кислотой.

Исследуемый раствор, содержащий от 0.1 до 0.25 мг  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , помещают в мерную колбу на 100 мл, в колбу приливают 5 мл 25%-го раствора сульфосалициловой кислоты и по каплям 25%-го аммиака до получения желтой окраски. Затем прибавляют еще 0.5 мл аммиака и содержимое колбы доводят дистиллированной водой до метки.

Определение железа проводят в фотоэлектроколориметре, применяя синий световой фильтр. Шкала эталонов приготавливается так же, как и при родановом методе. В присутствии марганца образуется интенсивное коричнево-красное окрашивание. Влияние незначительного количества марганца может быть устранено путем прибавления 5%-го солянокислого гидроксиамина перед нейтрализацией испытуемого раствора. Вычисления те же, что и при родановом методе.

#### Р е а к т и в ы

1. 25%-й раствор сульфосалициловой кислоты.
2. 25%-й аммиак.
3. 5%-й солянокислый гидроксиамин.

[Определение  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  комплексометрическим методом. Метод основан на способности трилон-Б при  $\text{pH}=1-1.3$  образовывать с  $\text{Fe}^{3+}$  прочный комплексный ион трилоната железа по схеме



Указанная реакция протекает при комнатной температуре медленно, поэтому титрование проводят в пробе, нагретой до 60—70°. Присутствие Al, Mn, Ca и Mg не мешает определению, так как в сильнокислой среде эти ионы не образуют с трилоном устойчивых комплексов.

Определение  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  проводят следующим образом: берут в коническую колбу 25 мл фильтрата от  $\text{SiO}_2$  (содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в титруемой пробе не должно превышать 25 мг), приливают 75 мл воды и нагревают раствор до кипения, после чего осторожно нейтрализуют его раствором концентрированного аммиака (приливая аммиак по каплям) до появления слабой мути, не исчезающей при перемешивании раствора.<sup>5</sup> Прибавляют в раствор 10 мл 1.0 н. раствора HCl для обеспечения величины  $\text{pH}=1$ , а затем тщательно перемешивают содержимое колбы до полного растворения осадка полуторных окислов. Прибавляют 1 мл 25%-го раствора сульфосалициловой кислоты и титруют 0.05 н. раствором трилон-Б до исчезновения лиловой окраски. Оттитрованную пробу используют для последующего определения  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . По результатам титрования вычисляют содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в золе с учетом показаний холостого опыта.

**П р и м е р в ч и с л е н i я .** Определение  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  проведено в 25 мл фильтрата от  $\text{SiO}_2$  из общего объема 250 мл. Поскольку навеска золы в данном случае была равна 1.0 г, следовательно, взята для определения  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  аликвотная часть раствора (25 мл) соответствует 1/10 части павески, т. е. 0.100 г сухой золы. На титрование затрачено 1.58 мл 0.04410 н. раствора трилон-Б.

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{0.04410 \cdot 1.58 \cdot 0.04 \cdot 100}{0.100} = 2.78\%,$$

где 0.04 — граммовое значение мг-экв.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Эта величина получается следующим образом. Поскольку при взаимодействии  $\text{Fe}^{3+}$  с трилоном-Б в раствор переходят дваиона водорода, молекула  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  вытесняет из него  $4\text{H}^+$ . Следовательно, эквивалентный вес окиси железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в данной реакции равен  $\frac{159.70}{4} = 39.92$ . Мг-экв.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  соответственно равен  $39.92 : 1000 = 0.03992$  г, округленно 0.04 г, 6

#### Р е а к т и в ы

1. 25%-й раствор аммиака (в капельнице).
2. 1.0 н. раствор соляной кислоты.
3. 25%-й раствор сульфосалициловой кислоты.
4. 0.05 н. раствор трилон-Б.

**П р и м е ч а н i e 1.** При малом содержании железа пробу нейтрализуют аммиаком до изменения окраски красной бумаги Конго. Прибавляют 5 мл 1.0 н. раствора HCl, путем упаривания или разбавления доводят объем раствора до 100 мл. Нагревают раствор до 60—70°, вводят 5 мл 20%-го раствора роданида аммония или калия и титруют 0.005 н. раствором трилон-Б из микробюретки до исчезновения розовой окраски роданида железа.

**П р и м е ч а н i e 2.** В присутствии сульфосалициловой кислоты, кроме трехвалентного железа, можно определить также содержание в растворе закисного железа. Для этого после титрования  $\text{Fe}^{3+}$  в раствор добавляют 100 мг персульфата аммония и кипятят раствор 1—2 мин., чтобы окислить  $\text{Fe}^{2+}$ , а затем оттитровывают вновь образовавшиеся ионы  $\text{Fe}^{3+}$ .

<sup>5</sup> В случае малых количеств железа следует поступать так, как описано в прим. 1.

6 Мг-экв.  $\text{Fe}^{3+}$  в данной реакции округленно равен 0.028 из расчета  $\frac{\text{атомн. вес}}{2} = \frac{55.85}{2} = 27.93 : 1000$ .

## Определение кальция

Кальций определяется в объединенных фильтратах после двукратного осаждения полуторных окислов аммиаком (с добавлением  $\text{FeCl}_3$ ) или в фильтрате после осаждения их фосфатным методом.

Фильтрат упаривают до небольшого объема и, прибавляя аммиак и уксусную кислоту, доводят его до слабокислой реакции. Осаждение кальция в виде щавелевокислого следует проводить в растворе, слабо подкисленном уксусной кислотой, во избежание увлечения магния осадком щавелевокислого кальция. К нагретому до кипения раствору прибавляют горячий насыщенный (4%-й) раствор щавелевокислого аммония, после чего жидкость вместе с осадком оставляют стоять на теплой плите не меньше чем на 4 часа. Осадок отфильтровывают через плотный фильтр с синей обмоткой. Способ промывания осадка зависит от того, как предполагают определять кальций — весовым или объемным методом. В первом случае осадок промывают водой с добавлением щавелевокислого аммония до исчезновения реакции на хлор (проба с  $\text{AgNO}_3$  после подкисления промывной жидкости  $\text{HNO}_3$ ), во втором случае — сначала водой со щавелевокислым амmonием до удаления хлора, а потом одной холодной водой до полного удаления щавелевокислого аммония (проба с  $\text{AgNO}_3$  без подкисления промывной жидкости  $\text{HNO}_3$ ). Можно также во втором случае начать промывание осадка сразу чистой водой без щавелевокислого аммония. Если от прибавления  $\text{AgNO}_3$  к промывной жидкости без подкисления  $\text{HNO}_3$  муть не появляется — значит, осадок отмыт и от хлора, и от щавелевокислого аммония.

При весовом методе осадок щавелевокислого кальция вместе с фильтром помещают во взвешенный платиновый тигель, высушивают на плите, осторожно озоляют, а затем сильно прокаливают в муфеле до постоянного веса. При прокаливании щавелевокислого кальция он переходит в  $\text{CaO}$ .

$$\% \text{CaO} = \frac{a \cdot n \cdot 100}{B},$$

где  $a$  — вес осадка,  $B$  — навеска «чистой» золы и  $\frac{1}{n}$  — часть навески, взятая для определения.

Если зола содержит много марганца, незначительная часть его попадает в осадок кальция, окрашивая последний в бурый цвет. В этом случае осадок после взвешивания растворяют в 5%-й серной кислоте с добавлением нескольких капель  $\text{H}_2\text{O}_2$  и в полученном растворе определяют марганец.

Из осадка  $\text{CaO}$  марганец вычтутают в виде  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , коэффициент перевода  $\text{MnO}$  в  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  — 1.0752.

При объемном методе под воронку с осадком щавелевокислого кальция, отмытым от избытка щавелевокислого аммония, подставляют стакан, в котором производилось осаждение, и растворяют осадок в горячей 1%-й серной кислоте. Растворив осадок, промывают фильтр горячей водой, выпаривают раствор до небольшого объема (если осадок невелик), прибавляют к нему 5 мл 10%-й серной кислоты, нагревают до  $80^\circ$  и титруют эквивалентную кальцию щавелевую кислоту 0.05 н.  $\text{KMnO}_4$  до появления неисчезающей в течение нескольких минут розовой окраски.

$$\% \text{CaO} = \frac{0.0014 \cdot K \cdot m \cdot n \cdot 100}{B},$$

где 0.0014 — количество  $\text{CaO}$  в граммах, соответствующее 1 мл 0.05 н.  $\text{KMnO}_4$ ,  $K$  — поправка  $\text{KMnO}_4$ ,  $m$  — количество миллилитров  $\text{KMnO}_4$ ,

израсходованное на титрование,  $B$  — навеска «чистой» золы, часть навески, взятая для определения.

Если осадок щавелевокислого кальция велик, сернокислый его доводят до определенного объема в мерной колбе и берут для титрования только часть его (учитывая это при вычислении % $\text{CaO}$ ).

Для пересчета на сухое растение % $\text{CaO}$  (полученный вес с объемным методом) умносят на  $\frac{A_2}{100}$  (где  $A_2$  — выход «чистого»  $\text{CaO}$  для перевода  $\text{CaO}$  в  $\text{Ca}$  — на коэффициент 0.7147).

## Реактивы

1. 4%-й раствор щавелевокислого аммония.
2. Уксусная кислота.
3. 1%-я серная кислота.
4. 0.05 н. титрованный раствор перманганата калия.

## [Определение $\text{CaO}$ комплексометрическим методом]

Перед определением  $\text{CaO}$  из раствора следует выделить побочные окислы аммиачным методом. Поскольку присутствие больших количеств  $\text{NH}_4^+$  мешает титрованию кальция по мурексиду, осаждение проводят следующим образом.

Берут 50 мл фильтрата от  $\text{SiO}_2$ , помещают в химический стакан, выпаривают на песочной бане до влажных солей, а затем ставят на водяную баню, чтобы удалить  $\text{HCl}$  полностью. Этую операцию с целью снизить содержание  $\text{NH}_4^+$  в фильтрате от  $\text{R(OH)}_3$  до допустимого предела (не больше 0.25 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в титруемой пробе).

Осадок солей растворяют в дистиллированной воде, прибавляют 1—2 капли метилового красного и осаждают полуторных окисью кальция, приливая его по каплям при постоянном помешивании до полного исчезнования окраски индикатора в желтую. Осадок полуторных окислов титруют через рыхлый фильтр и промывают горячим 1%-м раствором  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Реакция промывной жидкости должна быть предварительно проверена по желтой окраске от метилового красного. Промывают до полного исчезнования окраски от  $\text{Ca} + \text{Mg}$  по хромогену черному.

Фильтрат и промывные воды собирают в мерную колбу объемом 200 мл.<sup>7</sup> Доводят объем раствора в мерной колбе дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают.

Берут 25—50 мл раствора (объем пробы зависит от содержания кальция в растворе), помещают в коническую колбу емкостью 250 мл, прибавляют 1—2 капли 1%-го раствора  $\text{Na}_2\text{S}$  (не больше, так как это нарушает мурексид!), вносят гидроксиамин, разбавляют содержимое колбы дистиллированной водой до 100 мл, приливают 2—5 мл 0.05 н. раствора  $\text{NaOH}$  и вносят мурексид до приобретения раствора розовой окраски.

Медленно титруют испытуемый раствор трилоном Б 0.01 н. при постоянном и интенсивном перемешивании титруемого раствора до изменения розовой окраски в фиолетовую. По результатам титрования вычисляют содержание окиси кальция в золе, учитывая показания контрольного опыта на чистоту реагентов.

<sup>7</sup> Если осадок  $\text{R(OH)}_3$  небольшой, фильтрат собирают в мерную колбу объемом 100 мл и на титрование берут по 25 мл полученного раствора.

<sup>8</sup> Нормальность раствора трилона Б берется в соответствии с содержанием кальция в золе.

**При мер вычисления.** Для выделения  $R(OH)_3$  взято 50 мл фильтрата от  $SiO_2$  из мерной колбы емкостью 250 мл. При павеске, равной 1.000 г «чистой» золы, аликовтная часть соответствует 0.200 г. Фильтрат от  $R(OH)_3$  собран в мерную колбу емкостью 200 мл. Для определения  $CaO$  из этой колбы взято 50 мл, что соответствует  $0.200 : 4 = 0.05$  г «чистой» золы. На титрование взятой пробы затрачено 4.8 мл 0.01026н. раствора трилона Б.

$$\% CaO = \frac{0.01026 \cdot 4.8 \cdot 0.028 \cdot 100}{0.050} = 2.76\%,$$

где 0.028 — граммовое значение мг-экв.  $CaO$ .

### Реактивы

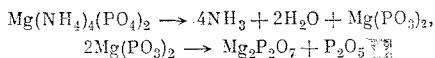
1. 20%-й едкий натр или едкое кали.
2. Мурексид. Используют сухую смесь мурексида с хлористым натрием в пропорции 1 : 100. Хранить в темной склянке с притертой пробкой.
3. 1%-й водный раствор  $Na_2S \cdot 9H_2O$  или сухой дистиллированный карбамат натрия.
4. Солянокислый гидроксиламин кристаллический.
5. Титрованный раствор трилона Б.]

### Определение магния

Магний определяется в фильтрате от щавелевокислого кальция. Наиболее распространенным методом определения магния является осаждение его раствором  $(NH_4)_2HPO_4$  (или  $Na_2HPO_4$ ) в присутствии аммиака в виде  $MgNH_4PO_4$ :  $MgCl_2 + (NH_4)_2HPO_4 + NH_4OH \rightarrow MgNH_4PO_4 + 2NH_4Cl + H_2O$ .

При прокаливании  $MgNH_4PO_4$ , выделяя аммиак и воду, переходит в пирофосфат магния  $Mg_2P_2O_7$ :  $2MgNH_4PO_4 \rightarrow 2NH_3 + H_2O + Mg_2P_2O_7$ .

Фильтр от щавелевокислого кальция, содержащий достаточное количество ионов  $NH_4^+$  (например, в виде  $NH_4Cl$ ), выпаривают до объема 150—200 мл. Присутствие ионов  $NH_4^+$  необходимо потому, что они снижают степень диссоциации аммиака и таким образом предотвращают осаждение магния аммиаком в виде гидрата. Однако очень большой избыток ионов  $NH_4^+$  также может повредить определению магния, так как в этом случае вместо осадка  $MgNH_4PO_4$  может частично образоваться осадок  $Mg(NH_4)_4(PO_4)_2$ , который при прокаливании дает неопределенную смесь двух солей —  $Mg(PO_3)_2$  и  $Mg_2P_2O_7$ :



$(P_2O_5$ , присоединяя воду, удаляется в виде  $HPO_3$ ).

Поэтому при очень большом количестве аммонийных солей в растворе их необходимо перед осаждением магния удалить.

К нагретому до кипения фильтрату от щавелевокислого кальция, сильно подкисленному соляной кислотой, прибавляют кипящий раствор  $(NH_4)_2HPO_4$ . По охлаждении жидкость нейтрализуется разбавленным аммиаком, который прибавляется по каплям при размешивании палочкой. При быстром приливании аммиака, особенно крепкого, гидрат магния все же может выпасть и, не успев раствориться, останется в виде примеси. Кроме того, в этом случае возможно выпадение  $Mg_2(PO_4)_2$ . Нейтрализованный раствор оставляют стоять еще некоторое время, а затем к нему прибавляют крепкого аммиака с таким расчетом, чтобы конечная концентрация его была 2—2.5%.

На следующий день осадок отфильтровывают через плотный фильтр с синей обмоткой и промывают 2—2.5%-м аммиаком до исчезновения в промывной жидкости реакции на  $Cl^-$ . Фильтр с осадком высушивают и осторожно озоляют во взвешенном тигле. При быстром озолении вместе

с фильтром прокаленный осадок может получиться не белого, а черного цвета, вследствие того что  $MgNH_4PO_4$ , прежде чем полностью разложиться на пирофосфат, аммиак и воду, расплывается и обволакивает несгоревшие частицы угля. В этом случае в охлажденный тигель приливают 1.5—2 мл  $HNO_3$  (уд. в. 1.4) и медленно выпаривают раствор до суха (лучше на водяной бане). После этого тигель сначала очень осторожно нагревают во избежание потерь при выделении бурых паров, а затем снова прокаливают в муфеле. Можно также высушенный осадок по возможности полностью высыпать в тигель, а фильтр сжечь отдельно и присоединить затем золу к осадку.

$$\% MgO = \frac{a \cdot 0.3621 \cdot n \cdot 100}{B}, \quad (1)$$

где  $a$  — вес осадка, 0.3621 — коэффициент перевода  $Mg_2P_2O_7$  в  $MgO$ ,  $B$  — павеска «чистой» золы и  $\frac{1}{n}$  — часть павески, взятая для определения.

При высоком содержании в золе марганца значительная часть его попадает в осадок вместе с магнием, причем цвет осадка остается белым. Прокаленный осадок после взвешивания растворяют в 5%-й серной кислоте, и если марганца очень много, для определения его берут только часть раствора, учитывая это при вычислениях. Из осадка  $Mg_2P_2O_7$  марганец вычитается в виде  $Mn_2P_2O_7$ . Коэффициент перевода  $MnO$  в  $Mn_2P_2O_7$  — 2.001. Формула (1) для вычисления  $\% MgO$  при наличии в осадке марганца принимает такой вид:

$$\% MgO = \left( \frac{a \cdot n \cdot 100}{B} - \% MnO \cdot 2.001 \right) \cdot 0.3621 \quad (2)$$

(т. е. прежде чем пересчитывать  $Mg_2P_2O_7$  на  $MgO$ , следует предварительно из осадка вычесть  $Mn_2P_2O_7$ ).

В некоторых случаях, например при определении магния в золе грубых листьев чая, осадок больше чем наполовину состоит из  $Mn_2P_2O_7$ . Поэтому перед определением кальция и магния желательно предварительно удалить марганец. Количество марганца, определенное в осадках  $R_2O_3$ ,  $CaO$  и  $MgO$ , в сумме обычно совпадает с валовым его содержанием. Для пересчета  $\% MgO$  на сухое растение умножают на  $\frac{A_2}{100}$  ( $A_2$  — выход «чистой» золы), а для пересчета  $MgO$  в  $Mg$  — на коэффициент 0.6032.

### Реактивы

1. 10%-й раствор  $(NH_4)_2HPO_4$  (или  $Na_2HPO_4$ ).
2. Аммиак крепкий и 2.5%-й.

### [Определение $MgO$ комплексометрическим методом]

Из мерной колбы берут такой же объем фильтрата от полуторных окислов, какой был взят для определения  $CaO$ . Помещают раствор в колическую колбу емкостью 250 мл. Прибавляют гидроксиламин и  $Na_2S$ , после чего раствор разбавляют дистиллированной водой до 100 мл. Приливают 5 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора и вносят металлический индикатор хромоген черный в таком количестве, чтобы окраска раствора была явно винно-красной. Медленно титруют раствор трилона Б при постоянном и интенсивном помешивании до изменения винно-красной окраски индикатора в сине-голубую.

Указанным титрованием определяют сумму окиси кальция и магния. Из количества миллилитров трилона Б, израсходованного на титрование по хромогену черному, вычитают то количество его, которое затрачено на титрование по мурексиду, и по разности узнают количество трилона, затраченное на титрование окиси магния. Вычисляют содержание  $MgO$  в золе, учитывая показания контрольного опыта на чистоту реактивов.

**Пример вычислений.** Для титрования суммы  $CaO$  и  $MgO$  взято 50 мл фильтрата от полуторных окислов, что соответствует 0,05 г «чистой» золы. На титрование затрачено 7,2 мл 0,01026н. раствора трилона Б. Из этого количества 4,8 мл приходится на  $CaO$ . Следовательно, на  $MgO$  израсходовано  $7,2 - 4,8 = 2,4$  мл 0,01026н. раствора трилона.

$$\%MgO = \frac{0,01026 \cdot 2,4 \cdot 0,020 \cdot 100}{0,050} = 0,98\%,$$

где 0,020 — граммовое значение мг-экв.  $MgO$ .

#### Р е а к т и в ы

1. Хромоген черный. Сухая смесь хромогена с химически чистым хлористым натрием или калием в отношении 1 : 100.

2. Хлоридно-аммиачный буфер по Шварценбаху: 70 г хлористого аммония (химически чистого) + 570 мл 25%-го аммиака довести водой до 1 л.

3. Солянокислый гидроксиламин.

4. 1%-й раствор сульфида натрия.

5. Титрованный раствор трилона Б.

**П р и м е ч а н и е.** Следует иметь в виду, что гидроксиламин предохраняет  $Mn^{2+}$  от окисления в щелочной среде, т. е. выпадения в осадок гидроксида марганца. Однако гидроксиламин не мешает взаимодействию марганца с трилоном, в результате чего двухвалентный марганец титруется трилоном в присутствии индикатора хромогена черного. Поэтому при большом содержании марганца из результатов титрования по этому индикатору следует вычесть содержание  $Mn^{2+}$  в титруемой пробе. Коэффициент пересчета  $MnO$  в  $Mn=0,774$ , а мг  $Mn^{2+}$  в мг-экв.=0,036.

Если содержание  $MnO$  в золе превышает 0,3%, марганец необходимо выделить из раствора вместе с полуторными окислами. Для этого при осаждении  $R(OH)_3$  в раствор добавляют переульфат или перекись водорода, которые в щелочной среде окисляют марганец до  $Mn^{4+}$ . Осадок четырехвалентного марганца —  $MnO(OH)_2$ , или  $MnO_2 \cdot H_2O$ , задерживается на фильтре вместе с полуторными окислами, что облегчает проведение титрования суммы кальция и магния.]

#### Удаление марганца перед осаждением кальция и магния

При высоком содержании в золе марганца его лучше удалить перед тем, как осаждать кальций и магний. Для этой цели обычно применяют окисление двухвалентного марганца бромной водой в аммиачной среде или в присутствии уксуснокислого натрия, что не всегда приводит к полному удалению марганца. Вместо бромной воды можно окислить марганец перманганатом в аммиачной среде (Калужская, 1956).

Реакция идет по уравнению:  $3MnCl_2 + 2KMnO_4 + 7H_2O = 5MnO(OH)_2 + 2KCl + 4HCl$ . Осаждение марганца по этому методу проводят следующим образом.

К фильтрату после двукратного осаждения аммиаком  $R_2O_3$  прибавляют еще 2–3 капли  $NH_4OH$  и 1 мл раствора сернокислого марганца (1 г/л) и нагревают приблизительно до  $80^\circ$  (в присутствии большого количества марганца прибавление раствора сернокислого марганца излишне). Прибавляют раствор перманганата (5 г/л) до появления розовой окраски (или пурпуровой), сильно взбалтывают, прибавляют 2 мл этилового спирта и продолжают нагревание при  $80^\circ$  приблизительно 15 мин. (до исчезновения розовой окраски раствора). Фильтруют, сохраняя фильтрат, затем подставляют под воронку стакан, в котором производилось осаждение, и несколько раз промывают осадок горячей соляной кислотой (1 : 4).

К солянокислому раствору прибавляют несколько капель метилортоа и аммиака до изменения окраски индикатора, а затем еще 2–3 капли избытка (иногда марганец разрушает окраску индикатора, чего нельзя смешивать с концом нейтрализации; в таком случае прибавление еще 1–2 капель индикатора покажет, что раствор остался еще кислым). Разбавляют раствор приблизительно до 100 мл, нагревают до  $80^\circ$ , прибавляют раствор  $KMnO_4$ , взбалтывают, прибавляют 2 мл этилового спирта и оставляют стоять при  $80^\circ$  около 15 мин. Фильтруют и промывают осадок (4–5 раз) горячей водой. В объединенных фильтратах, полученных после двукратного осаждения марганца, определяют кальций и магний.

Применение этого метода позволяет почти полностью удалить большие количества марганца, но несколько снижает полученные после удаления  $MnO$  результаты для кальция.

Результаты для магния, полученные без удаления и после удаления марганца, близки между собой.

#### Р е а к т и в ы

1. Аммиак.
2. Раствор сернокислого марганца (1 г/л) (при удалении малых количеств марганца).
3. Раствор перманганата (5 г/л).
4. Этиловый спирт.
5. Соляная кислота (1 : 4).

#### Определение щелочей

При медленном осторожном озолении растительного материала в муфеле при  $400$ – $450^\circ$  существенных потерь натрия и калия не происходит. Поэтому для определения щелочей можно использовать тот же фильтрат после выделения  $SiO_2$ , в котором определялись другие зольные элементы.

Определение натрия и калия фотоэлектрическим методом. Если имеется спектральная установка, лучше всего определять натрий и калий фотоэлектрическим методом — по связи между концентрацией элемента и интенсивностью его спектра. Метод этот очень быстр и достаточно точен.<sup>9</sup>

Спектр пробы возбуждается ацетилено-воздушным пламенем, пробы вводится в пламя в виде раствора с помощью распылителя и горелки.

При определении натрия и калия применяются интерференционные светофильтры, которые пропускают излучения натрия 5890/95 Å и калия 7665/99 Å. Интенсивность излучения измеряется при помощи фотоэлементов и зеркального гальванометра. При определении натрия применяется селеновый фотоэлемент, а калия — сернисто-серебряный.

По известным концентрациям элемента в эталонных растворах и соответствующим им значениям интенсивности строится график (отдельно для натрия и калия), который позволяет по найденному значению интенсивности излучения элемента в пробе определить его концентрацию. Так как шкала гальванометра выполнена в логарифмическом масштабе, график дает зависимость логарифма угла отклонения зеркала гальванометра от логарифма концентрации элемента.

Эталонные растворы готовятся из хлористых солей натрия и калия из расчета 1, 2, 4, 8 мг и т. д. на 1 л раствора. Установка позволяет определять концентрацию натрия и калия начиная с 1 мг/л раствора. Присутствие больших количеств алюминия, железа и магния не влияет на определение натрия и калия, а также присутствие калия не влияет на определение натрия, и наоборот. При наличии в растворе кальция полу-

<sup>9</sup> Подробное описание этого метода дано в статье Д. Н. Иванова (1953).

чаются завышенные данные для натрия и калия, так как кальций дает в спектре широкую интенсивную полосу, и интерференционные фильтры, не обладая достаточно полной монохроматичностью, пропускают не только излучения определяемых элементов, но и небольшую часть излучения кальция. Этот недостаток устраняется введением «компенсационного» светофильтра.

Как правило, кислоты в различной мере поникают чувствительность определения, поэтому нельзя выполнять анализ кислых растворов по нейтральным эталонам, и наоборот.

Так как содержание натрия в золе растений бывает обычно невысоким, его можно определять прямо в фильтрате после выделения  $\text{SiO}_2$ . Перед определением калия фильтрат почти всегда разбавляют.

Если концентрация натрия в испытуемом растворе —  $a_1 \cdot \text{мг/л}$  (или  $a_1 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$ ), объем испытуемого раствора — 500 мл ( $\frac{1}{2} \text{ л}$ ) и, следовательно, количество натрия в нем в граммах  $\frac{a_1 \cdot 10^{-3}}{2}$ , навеска «чистой» золы, находящаяся в растворе, —  $B$  (в граммах) и коэффициент перевода  $\text{Na}$  в  $\text{Na}_2\text{O}$  — 1.3479, то

$$\% \text{Na}_2\text{O} (\text{от "чистой" золы}) = \frac{a_1 \cdot 10^{-3} \cdot 1.3479 \cdot 100}{2B},$$

а

$$\% \text{Na} (\text{от сухого растительного вещества}) = \frac{a_1 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{2B} \cdot \frac{A_2}{100}$$

( $A_2$  — выход «чистой» золы).

Если тот же испытуемый раствор в объеме 500 мл с находящейся в нем навеской «чистой» золы  $B$  (в г) перед определением калия разбавлен в  $n$  раз, концентрация К в этом разбавленном растворе —  $a_2 \cdot \text{мг/л}$  (или  $a_2 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$ ) и коэффициент пересчета К в  $\text{K}_2\text{O}$  — 1.2046, то

$$\% \text{K}_2\text{O} (\text{от "чистой" золы}) = \frac{a_2 \cdot 10^{-3} \cdot 1.2046 \cdot n \cdot 100}{2B},$$

а

$$\% \text{K} (\text{от сухого растительного вещества}) = \frac{a_2 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot 100}{2B} \cdot \frac{A_2}{100}$$

( $A_2$  — выход «чистой» золы).

### Определение серы

Сера в растениях находится как в виде органических, так и в виде неорганических соединений.

При сухом озолении растительного материала (без применения окислителей) даже при температуре, не превышающей  $450^\circ$ , часть серы улетучивается. Поэтому при определении валового содержания серы приходится применять другие способы озоляния.

При анализе золы галофильных растений, весьма богатых серой, определение серы можно производить непосредственно из фильтрата после кремневой кислоты, т. е. после сухого озоляния, так как относительные потери серы очень незначительны.

Определение общей серы посредством озоляния растительного вещества  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$  или  $\text{HNO}_3 + \text{KClO}_3$ . Озоление растительного материала по этому методу проводят мокрым способом в колбе Кельдаля с удлиненным и суженным горлом. Во избежание улетучивания соединений серы

к колбе присоединяют посредством плифа обратный холодильник (Шестаков, 1940).

В узкую пробирку на аналитических весах берут навеску ( $1-2\text{г}$ ) воздушно-сухого тонко измельченного растительного материала. Дно пробирки посредством каучуковой трубки присоединяют к стеклянной палочке. Держа палочку с пробиркой в вертикальном положении, над пробиркой опускают вверх дном колбу Кельдаля, после чего колбу и пробирку переворачивают и навеска высыпается на дно колбы, не распыляясь по стенкам и в горле колбы. Вынув пробирку, ее снова взвешивают и таким образом определяют по разности вес навески.

В колбу приливают  $15-20 \text{ мл HNO}_3$  (уд. в. 1.4), присоединяют к колбе обратный холодильник и пускают в него воду. Сначала, пока идет бурная реакция окисления азотной кислотой органического вещества, нагревать следует на небольшом пламени горелки. Лучше всего оставить навеску с азотной кислотой при комнатной температуре на ночь, тогда на следующий день можно сразу начать сильное подогревание. По окончании выделения окислов азота, что бывает часа через два, в колбу прибавляют через верхнее отверстие холодильника по несколько капель  $\text{H}_2\text{O}_2$  (или небольшие порции  $\text{KClO}_3$ ), повторяя это через некоторые промежутки времени. Если во время озоляния в колбе останется мало азотной кислоты, можно прибавить еще несколько миллилитров.

Озоление вещества считается законченным, когда раствор после охлаждения станет прозрачным и зеленая окраска в нем исчезнет (при озолении вся сера целиком окисляется до  $\text{SO}_4^{2-}$ ). После этого прибор разбирают, содержимое колбы переносят в фарфоровую чашку и выпаривают на водяной бане досуха. Сухой остаток несколько раз обрабатывают соляной кислотой для удаления азотиной и для выделения кремнекислоты, высушивая каждый раз до исчезновения запаха  $\text{HCl}$ . Затем в чашку приливают горячую воду с добавлением  $\text{HCl}$ , кремнекислоту отфильтровывают и промывают обычным способом.

В зависимости от предполагаемого содержания серы для определения ее используют или весь фильтрат, или же доводят его в мерной колбе до определенного объема и берут для определения только часть его. Раствор, выпаренный до  $50-100 \text{ мл}$  и содержащий небольшое количество  $\text{HCl}$ , нагревают до кипения и осаждают  $\text{SO}_4^{2-}$  кипящим 5%-м раствором  $\text{BaCl}_2$  в виде  $\text{BaSO}_4$ . Чашку оставляют в теплом месте на ночь и на следующий день отфильтровывают осадок  $\text{BaSO}_4$  через плотный фильтр, отмывая от избытка  $\text{BaCl}_2$  горячей водой, подкисленной  $\text{HCl}$ . Фильтр с осадком озывают во взвешенном тигле и прокаливают в муфеле при  $400-450^\circ$ .

Умножая вес полученного  $\text{BaSO}_4$  на 0.1373, 0.3430 и 0.4115, получают соответственно вес S,  $\text{SO}_3$  и  $\text{SO}_4$  (в граммах) во взятой навеске:

$$\% \text{S} = \frac{a \cdot 0.1373 \cdot 100}{B},$$

где  $a$  — вес  $\text{BaSO}_4$ ,  $B$  — навеска сухого растительного вещества.

Определение серы после сухого озоляния растительного вещества с реагентом Бенедикта и Дениса (Шестаков, 1940). Навеску тонко измельченного растительного материала ( $1-1.2 \text{ г}$ ) помещают в большой фарфоровый тигель и тщательно перемешивают при помощи короткой стеклянной палочки с 15 мл реактива Бенедикта и Дениса. Тигель ставят в термостат и постепенно нагревают до  $160-180^\circ$ . Так как в состав реактива Бенедикта входит азотокислая медь, термостат должен находиться под тягой. Образующиеся при выпаривании на стенках тигля корочки считаются стеклянной палочкой в жидкую часть на дне тигля.

Недостаток метода заключается в том, что, когда жидкость начинает подсыхать, даже при температуре, не превышающей  $130-140^\circ$ , часто

происходит вспышка и содержимое выбрасывается из тигля. Поэтому надо все время следить, чтобы реакция шла не слишком бурно.

Когда остаток в тигле станет совершенно сухим, стеклянную палочку вынимают, счищают приставшие к ней частицы в тигель, тигель ставят в муфель и в течение 30 мин. прокаливают при красном калении. После охлаждения остаток растворяют в 30 мл 5%-й соляной кислоты, полученный раствор фильтруют и промывают остаток на фильтре горячей водой. Фильтрат выпаривают до 200—250 мл, нагревают до кипения и прибавляют к нему 50 мл горячего 1%-го раствора  $\text{BaCl}_2$ . Осадку дают постоять в теплом месте не менее 12 час., затем отфильтровывают его через плотный фильтр и тщательно промывают горячей водой, подкисленной  $\text{HCl}$ . Если осадок недостаточно промыт, то после прокаливания он может получиться черного цвета от задержившейся в нем меди. Вычисление то же, что и при озолении  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ .

#### Реактивы

1. Раствор Бенедикта: 250 г хлористого натрия, 100 г азотнокислого аммония и 250 г азотнокислой меди растворяют в небольшом количестве воды, фильтруют и доводят до 1 л.

2. 5%-я соляная кислота.

3. 1%-й раствор хлористого бария.

**Определение серы в растительном материале после сжигания его с хлоратом калия.** Недавно Р. Х. Айдиняном (Почвенный институт им. В. В. Докучаева) был разработан новый метод определения валового содержания серы в почвах, минералах, растениях и органических соединениях. Сущность метода состоит в том, что S-содержащее вещество нагревается в присутствии хлората калия (бертолетова соль,  $\text{KClO}_3$ ), который при этом разлагается с выделением кислорода ( $2\text{KClO}_3 = 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$ ). Выделяющийся кислород окисляет органическое вещество и неокисленные формы минеральной серы, переводя всю серу в ее высший окисел (серную кислоту и сульфаты).

Для определения серы по этому методу растительный материал тщательно растирается в агатовой ступке. Сжигание рекомендуется проводить в кварцевой пробирке длиной 18 см и диаметром около 2.5 см.

В пробирку помещают около 0.3 г анализируемого материала, 2 г  $\text{KClO}_3$  и 8 г чистого прокаленного песка (без песка реакция окисления будет протекать слишком бурно). Смесь тщательно перемешивают, вращая пробирку в руках в горизонтальном положении. Кварцевая пробирка № 1 посредством согнутой под прямым углом трубки, установленной в отверстие пробки, соединяется с пробиркой № 2 из простого стекла, служащей приемником и наполненной более чем до половины дистиллированной водой. Конец согнутой трубки должен доходить почти до дна пробирки № 2, а для выхода выделяющихся при сжигании газов пробка пробирки № 2 должна иметь второе отверстие. Указанная установка закрепляется на штативе.

Сжигание производят на сильном пламени газовой горелки. Если реакция идет очень бурно, горелку на некоторое время отводят в сторону. Сжигание считается законченным, когда прекратятся вспышки и выделение пузырьков в пробирке № 2.

После охлаждения прибор разнимают, жидкость в пробирке № 2 подкисляют 2—3 каплями  $\text{HCl}$  и по частям переносят в пробирку № 1. Содержимое пробирки № 1 перемешивают стеклянной палочкой и фильтруют через воронку с плотным фильтром. Нерастворимый остаток и песок в пробирке № 1 по возможности целиком переносят дистиллированной

водой на фильтр и промывают, пока не наберется объем фильтрата 200—250 мл. Если почему-либо не удалось полностью озолнить растительный материал и в пробирке № 1 остались отдельные несгоревшие черные комочки, содержащие 1-й и 2-й пробирок вместе с песком переносят в фарфоровую чашку, прибавляют туда 0.2 г  $\text{KClO}_3$  (или 2—3 мл 30%-й  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) и несколько капель  $\text{HCl}$  и выпаривают на водяной бане досуха, повторяя эту операцию до полного исчезновения углистых частичек. Затем в чашку приливают горячую дистиллированную воду с добавлением 2—3 капель  $\text{HCl}$  и содержащее чаши фильтруют, промывая нерастворимый остаток, пока не наберется 200—250 мл фильтрата. В стущенном до 50—100 мл фильтрате осаждают  $\text{SO}_4^{2-}$  раствором  $\text{BaCl}_2$ , как было описано выше.

#### Определение хлора

Содержание хлора в растениях сильно колеблется в зависимости от содержания его в почве. Особенно много хлора в растениях, произрастающих на засоленных хлористыми солями почвах.

Так как хлор не является составной частью органического вещества, то значительную часть его можно извлечь из растения путем вытяжки водой или кислотой.

Водную вытяжку готовят из мелко порезанного растения в отношении 1 : 10. В пробу бесцветной водной вытяжки,<sup>10</sup> в которой оттитрована общая щелочность,<sup>11</sup> прибавляют 1 мл 10%-го раствора  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  и проводят титрование  $\text{Cl}^-$  0.02 н. раствором  $\text{AgNO}_3$  до появления неисчезающей красно-буровой окраски. Изменение окраски легче прослеживать при сравнении титруемого раствора со «свидетелем», т. е. с колбочкой с таким же объемом вытяжки и хромовокислого калия.

Титрование ведут при энергичном взбалтывании раствора, чтобы освободить адсорбированный осадком  $\text{Cl}^-$ . Просветление раствора под конец титрования связано с укрупнением частиц осадка. При большом количестве хлоридов конец реакции установить довольно трудно, так как большой объем осадка хлорида серебра не позволяет проследить изменение окраски, связанное с появлением в растворе осадка хромата серебра. В этом случае лучше пользоваться более крепким раствором  $\text{AgNO}_3$  или разбавить титруемую пробу дистиллированной водой. При малом содержании  $\text{Cl}^-$  переход окраски также плохо заметен, поэтому вытяжку стущают выпариванием. Оттитрованные пробы сливают в склянку для последующей регенерации нитрата серебра.

**Пример вычисления.** Определение  $\text{Cl}^-$  проведено в 10 мл вытяжки. На титрование затрачено 2.45 мл 0.1012 н. раствора  $\text{AgNO}_3$ . Содержание хлоридов в исследуемой вытяжке равно:

$$\text{мг-экв. } \text{Cl}^- = 0.1012 \cdot 2.45 \cdot 50 = 12.397, \text{ округлено } 12.4,$$

где 50 — множитель пересчета на 100 г «чистой» золы;

$$\% \text{ Cl}^- = 12.4 \cdot 0.035 = 0.434,$$

где 0.035 — граммовое значение мг-экв.  $\text{Cl}^-$ .

#### Реактивы

1. 10%-й раствор хромата калия.

2. Титрованный раствор азотнокислого серебра.]

<sup>10</sup> Пробу окрашенной вытяжки разбавляют дистиллированной водой. Если это не приводит к заметному ослаблению окраски раствора, прибегают к потенциометрическому определению  $\text{Cl}^-$  или разрушают органические вещества прокаливанием.

<sup>11</sup> Если объем вытяжки слишком велик по содержанию  $\text{Cl}^-$ , берут меньшее ее количество. При малом содержании  $\text{Cl}^-$  берут 100 мл или большие и упаривают до 25—50 мл.

**Внесение поправки на растворимость минеральных примесей в 5%-й HCl и 5%-м KOH**

Если растительный материал загрязнен минеральными примесями, то при обработке золы 5%-й HCl и 5%-м KOH вместе с зольными элементами в раствор переходит и некоторая часть элементов, входящих в состав примесей. Вследствие этого при высоком содержании минеральных примесей (например, при анализе корневой массы и лесной подстилки) результаты анализа получаются сильно искаженными.

Чтобы иметь более правильное представление о действительном содержании зольных элементов, в полученные данные можно внести поправку на основании сопряженного анализа растительного материала и загрязняющих его почвенных частиц (Айдинян, 1953, 1954; Быкова, 1958). Для этого почву прокаливают в муфеле при 400—450°, т. е. при той же температуре, при которой озолялась растительная масса. Из прокаленной почвы берут навеску, несколько превышающую по весу нерастворимый остаток в золе (остаток почвы после обработки ее 5%-й HCl и 5%-м KOH будет тогда близок к нерастворимому остатку золы). Навеску почвы кипятят с таким же количеством 5%-й HCl и приблизительно в течение такого же времени, как это было сделано с навеской золы. Нерастворимый в 5%-й HCl остаток почвы отфильтровывают, промывают и обрабатывают 5%-м KOH. В щелочной вытяжке определяют SiO<sub>2</sub>. а отмытый от избытка щелочи остаток почвы озолят в муфеле при 400—450° и взвешивают. Солянокислый раствор, полученный после обработки почвы 5%-й HCl, выпаривают на водяной бане досуха для выделения SiO<sub>2</sub>, фильтрат от SiO<sub>2</sub> собирают в мерную колбу и из этого раствора берут аликовотные части для определения остальных элементов.

На основании данных, полученных при анализе почвы и растительного материала, делают соответствующие вычисления и вносят поправку на растворимость минеральных примесей в 5%-й HCl и 5%-м KOH (Айдинян, 1953, 1954).

**Пример вычисления.**

Зола	Почва
Навеска «сырой» золы — 2.3974 г	Навеска почвы — 1.5950 г
CO <sub>2</sub> в навеске золы — 0.1082 г	Остаток почвы после обработки
Нерастворимый в 5%-й HCl и 5%-м KOH остаток — 1.0224 г	5%-й HCl и 5%-м KOH —
Навеска золы без нерастворимого остатка и CO <sub>2</sub> — 1.2668 г	1.1940 г

На основании приведенных данных можно вычислить, какому количеству минеральных примесей ( $x$ ) соответствует нерастворимый остаток в золе (нерастворимый остаток является только частью минеральных примесей, не перешедшей в раствор):

$$\frac{1.1940 - 1.5950}{1.0224 - x} = \frac{1.5950 \cdot 1.0224}{1.1940} = 1.3658 \text{ г.}$$

Следовательно, навеска «чистой» золы (без минеральных примесей и CO<sub>2</sub>) после внесения поправки составит:

$$2.3974 - (1.3658 + 0.1082) = 0.9234 \text{ г.}$$

В качестве примера ниже приведены вычисления процентного содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CaO, как без поправок, так и с поправкой на растворимость минеральных примесей в 5%-й HCl и 5%-м KOH.

**Вычисление %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Количество Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в г; в пересчете на всю навеску), определенное в солянокислом растворе:

Зола	Почва
0,0728 г	0,0637 г

Количество Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, перешедшее в раствор из минеральных примесей золы ( $x$ ), вычисляется на основании пропорций:

$$\begin{aligned} \text{Навеска почвы} & \quad \text{Минеральные примеси} \\ 1.5950 - 0.0637 \text{ г} & \quad 1.3658 - x \\ 0.0637 \cdot 1.3658 & \\ x = \frac{0.0637 \cdot 1.3658}{1.5950} & = 0.0545 \text{ г.} \end{aligned}$$

Количество Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в навеске золы после внесения поправки составит:

$$0.0728 - 0.0545 = 0.0183 \text{ г.}$$

**%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от «чистой» золы:**

$$\begin{array}{ll} \text{Без поправки} & \text{С внесением поправки} \\ \frac{0.0728 \cdot 100}{1.2668} = 5.74 & \frac{0.0183 \cdot 100}{0.9234} = 1.98 \\ (1.2668 — \text{навеска золы без поправки}) & (0.9234 — \text{навеска золы с поправкой}) \end{array}$$

Таким образом, после внесения поправки процентное содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> уменьшилось более чем в 2.5 раза.

**Вычисление %CaO**

Количество CaO (в г; в пересчете на всю навеску), определенное в солянокислом растворе:

Зола	Почва
0,2180 г	0,0315 г

Количество CaO, перешедшее в раствор из минеральных примесей золы ( $x$ ), вычисляется на основании пропорции:

$$\begin{aligned} \text{Навеска почвы} & \quad \text{Минеральные примеси} \\ 1.5950 - 0.0315 \text{ г} & \quad 1.3658 - x \\ x = \frac{0.0315 \cdot 1.3658}{1.5950} & = 0.0315 \cdot 0.8563 = 0.0270 \text{ г.} \end{aligned}$$

Примечание. Для данного образца число 0.8563 является постоянным множителем при переходе от навески почвы к количеству минеральных примесей в золе.

Количество CaO в навеске золы после внесения поправки составит:

$$0.2180 - 0.0270 = 0.1910 \text{ г.}$$

**%CaO от «чистой» золы:**

$$\begin{array}{ll} \text{Без поправки} & \text{После внесения поправки} \\ \frac{0.2180 \cdot 100}{1.2668} = 17.21 & \frac{0.1910 \cdot 100}{0.9234} = 20.68 \\ (1.2668 — \text{навеска золы без поправки}) & (0.9234 — \text{навеска золы с поправкой}) \end{array}$$

Так как из минеральных примесей перешло в раствор незначительное по сравнению с содержанием в золе количество CaO, то после внесения

поправки процентное содержание CaO не уменьшилось, а увеличилось за счет уменьшения навески золы.

Аналогичным образом можно внести поправку на растворимость минеральных примесей при вычислении процентного содержания любого зольного элемента.

#### Вычисление выхода «чистой» золы

Выход «чистой» золы ( $A_2$ ) при наличии большого количества минеральных примесей вычисляется по формуле (см. выше, «Определение количества золы»):

$$A_2 = A_1 \frac{100 - (m + n)}{100 - m_1},$$

где  $A_1$  — выход «сырой» золы,  $m$  — % минеральных примесей и  $n$  — % углекислоты в пересчете на «сырую» золу,  $m_1 = m \cdot \frac{A_1}{100}$  — % минеральных примесей в пересчете на сухое растительное вещество.

Приводим расчет для данного примера:

$$A_1 = 16.40 \quad m = \frac{1.3658 \cdot 100}{2.3974} = 56.97.$$

$$n = \frac{0.1082 \cdot 100}{2.3974} = 4.51, \quad m_1 = 56.97 \frac{16.40}{100} = 9.35.$$

$$A_2 \text{ (выход «чистой» золы)} = 16.40 \frac{100 (56.97 + 4.51)}{100 - 9.35} = 6.97\%.$$

После внесения поправки резко снижается процентное содержание железа, в меньшей степени — алюминия. Что же касается остальных катионов, то почти всегда количество их после поправки несколько возрастает, что особенно заметно в отношении кальция. Внесение поправки на растворимость минеральных примесей не устраниет полностью погрешности при озолении загрязненного растительного материала, так как нет уверенности в полной тождественности анализируемой почвы и оставшихся в растительном материале примесей как по химическому, так и по механическому их составу. Некоторой гарантией может служить совпадение результатов анализа остатков почвы и примесей после обработки их 5%-й HCl и 5%-м KOH.

Во всяком случае внесение поправок дает возможность составить более правильное представление о действительном содержании зольных элементов в анализируемом материале.

#### Пример вычисления результатов зольного анализа

Ввиду того что вычисление результатов зольного анализа занимает в процессе работы значительное время и в некоторых случаях может вызвать большие затруднения, в качестве примера приводится подробный расчет анализа молодых листьев чайного растения с высоким содержанием фосфора и марганца.

#### Вычисление выхода «сырой» золы ( $A_1$ )

Для озоляния взято 20 г воздушно-сухого растительного материала. Одновременно взята навеска 2.4450 г в бюкс для определения гигроскопической влаги. Убыль в весе после высушивания при 105° — 0.2856 г, откуда процент гигроскопической влаги  $= \frac{0.2856 \cdot 100}{2.4450} = 11.68$  %, следова-

тельно, навеска сухого растительного вещества, взятого для озоляния  $= 20 \frac{100 - 11.68}{100} = 17.66$  г.

После озоляния и доведения золы до постоянного веса получено 0.9772 г «сырой» золы (содержащей минеральные примеси и CO<sub>2</sub>).

Выход «сырой» золы в пересчете на сухое растительное вещество

$$A_1 = \frac{0.9772 \cdot 100}{17.66} = 5.53\%.$$

#### Вычисление %CO<sub>2</sub>

Для определения CO<sub>2</sub> в колбу от аппарата Кюнга взята целиком полученная «сырая» зора (т. е. 0.9772 г). Привес поглотительных трубок 0.1200 г.

$$\%CO_2 \text{ от «сырой» золы} = \frac{0.1200 \cdot 100}{0.9772} = 12.28.$$

#### Вычисление % минеральных примесей (нерасторимого в 5%-м KOH и 5%-й HCl остатка)

После определения CO<sub>2</sub> нерастворимый в 5%-й HCl остаток отфильтровывался, а затем обрабатывался 5%-м KOH. Вес отмытого от избытка KOH и озоленного нерастворимого остатка — 0.0144 г.

$$\% \text{ минеральных примесей от «сырой» золы} = \frac{0.0144 \cdot 100}{0.9772} = 1.47.$$

#### Вычисление выхода «чистой» золы ( $A_2$ )

Зная выход «сырой» золы (5.53%), %CO<sub>2</sub> и процент минеральных примесей от «сырой» золы, можно вычислить выход «чистой» золы. Выход «чистой» золы от сухого растительного вещества

$$A_2 = 5.53 \frac{100 - (12.28 + 1.47)}{100} = 4.77.$$

Чтобы получить навеску «чистой» золы, нужно из навески «сырой» золы вычесть вес CO<sub>2</sub> и минеральных примесей:

$$0.9772 - (0.1200 + 0.0144) = 0.8428 \text{ г.}$$

На эту навеску производятся все дальнейшие расчеты.

#### Вычисление %SiO<sub>2</sub> в щелочной вытяжке

Вес SiO<sub>2</sub>, выделенной из щелочной вытяжки, — 0.0052 г; вес SiO<sub>2</sub> во взятом объеме 5%-го KOH — 0.0036 г.

$$\%SiO_2 \text{ от «чистой» золы} = \frac{(0.0052 - 0.0036) \cdot 100}{0.8428} = 0.19.$$

Для пересчета %SiO<sub>2</sub> на сухое растительное вещество следует умножить на коэффициент  $\frac{4.77}{100} = 0.0477$  (4.77 — выход «чистой» золы).

$$\%SiO_2 \text{ от сухого растительного вещества} = 0.19 \cdot 0.0477 = 0.0091.$$

В данном случае %SiO<sub>2</sub> очень незначителен, в некоторых же случаях, например при анализе злаков, содержание SiO<sub>2</sub> в щелочной вытяжке доходит до 70% от «чистой» золы.

### Вычисление % $\text{SiO}_2$ в солянокислом растворе

Вес  $\text{SiO}_2$ , выделенной из солянокислого раствора после определения  $\text{CO}_2$  (по Кюнпу) и отфильтровывания нерастворимого в 5%-й  $\text{HCl}$  остатка, равен 0.0020 г.

$$\% \text{SiO}_2 \text{ от «чистой» золы} = \frac{0.0020 \cdot 100}{0.8428} = 0.24.$$

$$\% \text{SiO}_2 \text{ от сухого растительного вещества} = 0.24 \cdot 0.0477 = 0.014.$$

Содержание  $\text{SiO}_2$  в солянокислом растворе обычно бывает невысоким. Фильтрат после выделения  $\text{SiO}_2$  собран в мерную колбу на 500 мл.

### Вычисление % $\text{P}_2\text{O}_5$

Для определения  $\text{P}_2\text{O}_5$  по Лоренцу взято 50 мл из 500 мл фильтрата после выделения  $\text{SiO}_2$  ( $\frac{1}{10}$  часть навески 0.8428 г). Вес полученного сложного осадка — 0.5078 г. Коэффициент перевода этого осадка в  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0.03295.

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 \text{ от «чистой» золы} = \frac{0.5078 \cdot 0.03295 \cdot 10 \cdot 100}{0.8428} = 19.85.$$

Для пересчета % $\text{P}_2\text{O}_5$  на сухое растительное вещество надо умножить на 0.0477, а для перевода  $\text{P}_2\text{O}_5$  в Р — на коэффициент 0.4368.

$$\% \text{P} \text{ от сухого растительного вещества} = 19.85 \cdot 0.0477 \cdot 0.4368 = 0.42.$$

### Вычисление % $\text{MnO}$

Для определения марганца взято 25 мл из 500 мл фильтрата ( $\frac{1}{10}$  часть навески — 0.8428 г) и после окисления персульфатом аммония раствор доведен в мерной колбе до 250 мл.

При составлении шкалы для фотоэлектроколориметрического определения марганца были использован 0.01н. раствор перманганата с поправкой 1.048. 1 мл такого раствора соответствует

$$0.1418 \cdot 10^{-3} \cdot 1.048 = 0.1486 \cdot 10^{-3} \text{ г MnO}.$$

В мерные колбы на 100 мл взято 1.5, 2, 2.5, 3, 4 и 5 мл раствора  $\text{KMnO}_4$  и после разбавления дистиллированной водой до метки с помощью фотоэлектроколориметра установлена следующая зависимость:

Количество миллилитров в 100 мл	Соответствующее коли- чество милливольт
1.5	20
2.0	25
2.5	29
3.0	33
4.0	40
5.0	45

На основании этой зависимости на миллиметровой бумаге вычерчивается кривая: на оси абсцисс откладывается количество миллилитров раствора  $\text{KMnO}_4$ , а на оси ординат — соответствующее количество милливольт.<sup>12</sup>

Для испытуемого раствора получено 32 мв, что по кривой соответствует 2.85 мл раствора  $\text{KMnO}_4$ . Следовательно, в 100 мл испытуемого

<sup>12</sup> Кривая эта не является строго постоянной и нуждается в корректировке.

раствора содержится  $(0.1486 \cdot 10^{-3} \cdot 2.85)$  г  $\text{MnO}$ , а в 250 мл —  $(0.1486 \cdot 10^{-3} \cdot 2.85 \cdot 2.5)$  г  $\text{MnO}$ .

Так как для определения марганца взята  $\frac{1}{20}$  часть навески 0.8428 г, то для пересчета на всю навеску надо умножить еще на 20, откуда

$$\% \text{MnO} \text{ от «чистой» золы} = \frac{0.1486 \cdot 10^{-3} \cdot 2.85 \cdot 2.5 \cdot 20 \cdot 100}{0.8428} = 2.51.$$

$$\% \text{MnO} \text{ от сухого растительного вещества} = 2.51 \cdot 0.0477 \cdot 0.7744 = 0.09,$$

где 0.7744 — коэффициент перевода  $\text{MnO}$  в Mn.

### Вычисление % $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Для определения  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  взято 50 мл из 500 мл фильтрата ( $\frac{1}{10}$  часть навески 0.8428). После окрашивания раствор доведен в мерной колбе до 100 мл. При составлении шкалы для фотоэлектроколориметра в качестве эталона использован раствор железо-аммиачных квасцов, в 1 мл которого содержится  $0.265 \cdot 10^{-4}$  г  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Устанавливается следующая зависимость:

Количество миллилитров эталона	Соответствующее количество	
	миллилитров	милливольт
4	4	24
5	5	27.5
6	6	31
8	8	36.5
10	10	42

Для испытуемого раствора получено 32 мв, что по вычерченной кривой соответствует 6.60 мл эталона.

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ «чистой» золы} = \frac{0.265 \cdot 10^{-4} \cdot 6.60 \cdot 10 \cdot 100}{0.8428} = 0.21.$$

$$\% \text{Fe} \text{ от сухого растительного вещества} = 0.21 \cdot 0.0477 \cdot 0.6994 = 0.007,$$

где 0.6994 — коэффициент перевода  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в Fe.

### Вычисление % $\text{Al}_2\text{O}_3$ (по разности) после осаждения $\text{R}_2\text{O}_3$ аммиаком

Для определения  $\text{R}_2\text{O}_3$  взято 100 мл из 500 мл фильтрата ( $\frac{1}{5}$  часть навески 0.8428). Процентное содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  в образце — 19.85; следовательно, количество  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\frac{1}{5}$  части навески будет равно  $\frac{19.85 \cdot 0.8428}{100.5} = 0.0334 \text{ г.}$

Для связывания 0.0334 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  требуется  $0.0334 \cdot \frac{159.68}{142.04} = 0.0375 \text{ г } \text{Fe}_2\text{O}_3$  (159.68 — мол. вес  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а 142.04 — мол. вес  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Прибавлен избыток раствора  $\text{FeCl}_3$ , содержащий 0.0436 г  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Вес полученного после осаждения аммиаком осадка — 0.0852 г, а за вычетом  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , прибавленного с раствором  $\text{FeCl}_3$ , составляет 0.0852 — 0.0436 = 0.0416 г.

В состав этого осадка, кроме железа и алюминия, входит  $\text{P}_2\text{O}_5$  и часть  $\text{MnO}$ .

$$\% (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{MnO}) = \frac{0.0416 \cdot 5 \cdot 100}{0.8428} = 24.67.$$

Для определения осевшего с  $\text{R}_2\text{O}_3$   $\text{MnO}$  осадок сплавлен с кислым сернокислым калием, сплав растворен в 5%-й  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и после окисления персульфатом аммония раствор доведен в мерной колбе до 500 мл.

32.5 мв для испытуемого раствора соответствует 2.95 мл раствора  $\text{KMnO}_4$  в 100 мл, а в 500 мл — 14.75 мл.

$$\% \text{MnO} = \frac{0.1486 \cdot 10^{-3} \cdot 14.75 \cdot 5 \cdot 100}{0.8428} = 1.30.$$

$$\begin{aligned} \% \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ от «чистой» золы} &= 24.67 - (19.85 + 1.30 + 0.21) \\ &= 3.31 (19.85 - \% \text{P}_2\text{O}_5, 1.30 - \% \text{MnO} \text{ и } 0.21 - \% \text{Fe}_2\text{O}_3). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Al} \text{ от сухого растительного вещества} &= 3.31 \cdot 0.0477 \cdot 0.5291 = \\ &= 0.083 (0.5291 \text{ — коэффициент перевода } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ в Al}). \end{aligned}$$

#### Вычисление %CaO

Кальций определялся в фильтрате после осаждения  $\text{R}_2\text{O}_3$  аммиаком ( $\frac{1}{5}$  часть навески 0.8428).

Осадок  $\text{CaO}$ , полученный после прокаливания щавелевокислого кальция, был окрашен в бурый цвет, что указывало на присутствие в нем марганца (в виде  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ). Для определения марганца взвешенный осадок растворен в 5%-й  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с добавлением  $\text{H}_2\text{O}_2$  и после окисления персульфатом аммония раствор доведен в мерной колбе до 100 мл.

33 мв для испытуемого раствора соответствует 3 мл раствора  $\text{KMnO}_4$ . Следовательно, в испытуемом растворе содержится:

$$0.1486 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 1.0752 = 0.0005 \text{ г } \text{Mn}_3\text{O}_4, \text{ где } 1.0752 \text{ — коэффициент перевода } \text{MnO} \text{ в } \text{Mn}_3\text{O}_4.$$

Вес прокаленного окрашенного осадка — 0.0168 г. Вес  $\text{CaO}$ , за вычетом  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , — 0.0163 г.

$$\% \text{CaO} \text{ от «чистой» золы} = \frac{0.0163 \cdot 5 \cdot 100}{0.8428} = 9.67.$$

$$\% \text{Ca} \text{ от сухого растения} = 9.67 \cdot 0.0477 \cdot 0.7147 = 0.25$$

(0.7147 — коэффициент перевода  $\text{CaO}$  в  $\text{Ca}$ ).

#### Вычисление %MgO

Магний определялся в фильтрате от щавелевокислого кальция ( $\frac{1}{5}$  часть навески — 0.8428 г).

Полученный после прокаливания осадок представлял смесь пирофосфата магния с пирофосфатом марганца. Для определения марганца взвешенный осадок растворен в 5%-й  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и после окисления персульфатом аммония раствор доведен в мерной колбе до 250 мл.

41 мв для испытуемого раствора соответствует 4.25 мл раствора  $\text{KMnO}_4$  в 100 мл.

Следовательно, в 250 мл испытуемого раствора содержится:

$$0.1486 \cdot 10^{-3} \cdot 4.25 \cdot 2.5 \cdot 2.001 = 0.0031 \text{ г } \text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7, \text{ где } 2.001 \text{ — коэффициент перевода } \text{MnO} \text{ в } \text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7.$$

Вес  $(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7)$  — 0.0438 г.

Вес  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$  за вычетом  $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$  — 0.0407 г.

$$\% \text{MgO} \text{ от «чистой» золы} = \frac{0.0407 \cdot 0.3621 \cdot 5 \cdot 100}{0.8428} = 8.74$$

(0.3621 — коэффициент перевода  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$  в  $\text{MgO}$ ).

$$\% \text{Mg} \text{ от сухого растения} = 8.74 \cdot 0.0477 \cdot 0.6032 = 0.25$$

(0.6032 — коэффициент перевода  $\text{MgO}$  в  $\text{Mg}$ ).

В образцах с невысоким содержанием марганца, когда нет необходимости определять марганец в осадках  $\text{R}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , расчеты значительно упрощаются.

#### Вычисление %Na<sub>2</sub>O

Натрий и калий определялись на спектральной установке. Для определения натрия фильтрат после выделения  $\text{SiO}_2$  взят без разбавления. Концентрация натрия в испытуемом растворе 0.5 мг/л (или  $0.5 \cdot 10^{-3}$  г/л), количество же натрия во взятой навеске в объеме 500 мл —  $0.25 \cdot 10^{-3}$  г.

Коэффициент перевода  $\text{Na}$  в  $\text{Na}_2\text{O}$  — 1.3479, откуда

$$\% \text{Na}_2\text{O} \text{ от «чистой» золы} = \frac{0.25 \cdot 10^{-3} \cdot 1.3479 \cdot 100}{0.8428} = 0.04.$$

$$\% \text{Na} \text{ от сухого растения} = \frac{0.25 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0.8428} \cdot 0.0477 = 0.0014.$$

#### Вычисление %K<sub>2</sub>O

Для определения калия фильтрат разбавлен в 20 раз. Концентрация калия в этом разбавленном растворе — 27 мг/л (или  $27 \cdot 10^{-3}$  г/л), количество же калия во взятой навеске в объеме 500 мл с учетом разбавления —  $\frac{27 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{2} = 270 \cdot 10^{-3}$  г = 0.270 г.

Коэффициент перевода  $\text{K}$  в  $\text{K}_2\text{O}$  — 1.2046, откуда

$$\% \text{K}_2\text{O} \text{ от «чистой» золы} = \frac{0.270 \cdot 1.2046 \cdot 100}{0.8428} = 38.59.$$

$$\% \text{K} \text{ от сухого растения} = \frac{0.270 \cdot 100}{0.8428} \cdot 0.0477 = 1.53.$$

\* \* \*

\*

В приложении даны в виде таблиц с конкретными материалами формы записи результатов зольного анализа, расчета накопления зольных элементов и азота в фитомассе, потребления химических элементов на построение годичного прироста, возвращения химических элементов с годичным опадом, удержания химических элементов в истинном приросте в различных типах растительных сообществ. Предложено несколько вариантов оформления материалов (табл. 8—29). Также приводятся образцы графиков для наглядного изображения биологического круговорота и химического состава растений (рис. 1—14).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 8

Содержание химических элементов в растениях и торфе верхового сосново-сфагнового болота  
(% на сухое вещество)

Разрез 11. Западная Сибирь, Бараба. (По материалам Н. И. Базилевич)

Растения и их части	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N	
<i>Sphagnum fuscum</i> , прирост текущего года . . . . .	1.24	0.34	0.27	0.32	0.15	0.07	0.10	0.06	0.05	0.06	0.03	0.40	1.55	2.79	
То же прошлых лет . . . . .	1.00	0.66	0.44	0.27	0.25	0.07	0.15	0.10	0.05	0.08	0.04	0.04	2.15	3.15	
<i>Sphagnum medium</i> , прирост текущего года . . . . .	1.25	0.35	0.29	0.70	0.16	0.07	0.08	0.06	0.05	0.08	0.04	0.08	1.96	3.21	
Кустарнички	листья . . . . .	1.30	0.43	0.27	0.25	0.10	0.06	0.05	0.02	0.04	0.04	0.08	0.03	1.07	2.37
	ветви . . . . .	0.51	0.02	0.34	0.17	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.74	1.25
	корни . . . . .	0.64	0.03	0.24	0.18	0.04	0.03	0.10	0.07	0.03	0.02	0.03	0.01	0.78	1.42
Осока	листья . . . . .	1.16	0.68	0.42	0.90	0.14	0.09	0.06	0.03	0.06	0.11	0.06	0.10	2.65	3.81
	корни . . . . .	0.80	0.44	0.38	0.24	0.05	0.03	0.12	0.05	0.01	0.03	0.04	0.02	1.41	2.21
Сосна	хвоя, средняя проба . . .	1.32	0.04	0.23	0.37	0.16	0.10	0.08	0.01	0.03	0.04	0.01	0.05	1.12	2.44
	хвоя текущего года . . .	1.36	0.02	0.46	0.56	0.17	0.12	0.05	0.01	0.02	0.05	0.01	0.05	1.22	2.58
	хвоя старых лет . . . . .	1.12	0.05	0.38	0.28	0.16	0.08	0.08	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	1.17	2.29
	ветви . . . . .	0.39	0.01	0.39	0.16	0.08	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02	0.01	0.04	0.77	1.16
	ствол . . . . .	0.49	0.01	0.44	0.07	0.04	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.34	0.53
	корни . . . . .	0.58	0.02	0.43	0.12	0.07	0.04	0.03	0.01	0.04	0.02	0.01	0.03	0.48	1.06
Торф, 10—30 см . . . . .	1.93	0.84	1.03	0.05	0.37	0.09	0.22	0.27	0.03	0.18	0.04	0.02	3.14	5.07	

Таблица 9

Содержание химических элементов в фитомассе сообщества верхового сосново-сфагнового болота (кг/га)  
Разрез 11. Западная Сибирь, Бараба. (По материалам Н. И. Базилевич)

Растения и их части	Фитомасса (т/га)	% от всей фитомассы	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Сосна, хвоя . . . . .	13.0	4	17.16	0.52	2.99	4.81	2.08	1.30	1.04	0.13	Не опр.	0.52	0.13	0.65	14.17	31.33
Сфагнум, прирост текущего года . . . . .	27.0	7	33.48	9.48	7.29	8.64	4.05	1.89	2.70	1.62	1.35	1.62	0.81	2.70	41.85	75.33
Сфагнум, живые побеги прошлых лет . . . . .	100.0	27	100.00	66.00	44.00	27.00	25.00	7.00	15.00	10.00	5.00	8.00	4.00	4.00	215.00	315.00
Кустарнички, зеленая часть . . . . .	10.0	3	13.00	4.30	2.70	2.50	1.00	0.60	0.50	0.20	0.40	0.40	0.80	0.30	10.70	23.70
Осока . . . . .	0.5	< 1	0.58	0.34	0.24	0.45	0.07	0.05	0.03	0.01	0.03	0.06	0.03	0.05	1.33	1.91
Итого (зеленая часть) . . . . .	150.5	41	164.22	77.34	57.19	43.40	32.20	10.84	19.27	11.96	6.78	10.60	5.77	7.70	283.05	447.27
Сосна { ствол . . . . .	150.0	41	28.50	1.50	21.00	10.50	6.00	1.50	3.00	1.50	Не опр.	1.50	1.50	3.00	51.00	79.50
Сосна { ветви . . . . .	24.0	6	9.36	0.24	9.36	3.84	1.92	0.72	0.72	0.24	»	0.48	След. опр.	0.96	18.48	27.84
Кустарнички, ветви . . . . .	5.5	2	2.81	0.11	4.87	0.94	0.28	0.22	0.17	0.11	0.06	0.17	0.06	0.11	4.10	6.91
Итого (многогодичная надземная часть) . . . . .	179.5	49	40.67	1.85	32.23	15.28	8.20	2.44	3.89	1.85	0.06	2.15	1.56	4.07	73.58	114.25
Итого (надземная часть) . . . . .	330.0	90	204.89	79.19	89.42	58.68	40.40	13.28	23.16	13.81	6.84	12.75	7.33	11.77	356.63	561.52
Сосна, корни . . . . .	27.0	7	15.66	0.54	3.51	3.24	1.89	1.08	0.81	0.27	Не опр.	0.54	0.27	0.81	12.96	28.62
Полукустарнички, корни . . . . .	12.0	3	7.68	0.36	2.88	2.16	0.48	0.36	1.20	0.84	0.36	0.24	0.36	0.12	9.36	17.04
Осока, корни . . . . .	1.0	1	0.80	0.44	0.38	0.24	0.05	0.03	0.12	0.05	0.01	0.03	0.04	0.02	1.44	2.24
Итого (корни) . . . . .	40.0	10	24.14	1.34	6.77	5.64	2.42	1.47	2.13	1.46	0.37	0.81	0.67	0.95	23.73	47.87
Всего (фитомасса)	370.0	100	229.03	80.53	96.19	64.32	42.82	14.75	25.29	14.97	7.21	13.56	8.00	12.72	380.36	609.39

Средневзвешенное содержание элементов в фитомассе (% на сухое вещество)

0.62 | 0.22 | 0.26 | 0.47 | 0.12 | 0.04 | 0.07 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 1.03 | 1.65

Таблица 10  
Приложение хроматических элементов на построение геодезического приведения сообщества первичного сосново-сфагнового болота (круга)

100

Расчеты и их части	Таблица 11 Ежегодное поступление химических элементов с оплатом в соотношении верхового сосново-сфагнового болота (кг/га)																
	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов без Cl			
Сосна, хвойн.	1,85	5	2,52	0,09	0,70	1,04	0,31	0,22	0,45	0,04	0,09	0,02	0,69	2,75	5,27		
Горячий	27,00	79	33,48	17,80	11,85	8,64	6,75	1,89	4,05	2,70	0,09	0,97	60,57	94,45			
Кустарников	2,20	6	2,76	0,28	0,59	0,55	0,22	0,13	0,44	0,04	0,09	0,48	0,07	2,35	5,11		
Осока . . . . .	0,50	2	0,58	0,34	0,21	0,45	0,07	0,05	0,03	0,01	0,06	0,03	0,05	1,33	1,91		
Итого (зеленая часть) . . . . .	31,55	92	39,34	48,51	13,35	10,68	7,35	2,29	4,34	2,79	1,47	2,40	1,31	2,91	67,40	106,74	
Сосна, ствол . . . . .	1,60	4	0,34	0,02	0,22	0,44	0,05	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,55	0,89	
Сосна, пеньки . . . . .	0,26	<1	0,10	Следы.	0,10	0,04	0,02	0,01	Следы.	»	»	0,01	0,01	0,01	0,20	0,30	
Кустарники, ветви	0,25	<1	0,42	»	0,09	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	Следы.	0,01	0,01	0,20	0,32		
Итого (многолетние растения) . . . . .	2,11	6	0,56	0,02	0,44	0,19	0,10	0,04	0,05	0,03	»	0,04	0,02	0,05	0,95	1,51	
Итого (зеленая часть) . . . . .	33,56	98	39,90	48,53	13,76	10,87	7,45	2,33	4,39	2,82	1,47	2,44	1,33	2,96	68,45	108,25	
Сосна, корни . . . . .	0,20	<1	0,17	0,01	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	Следы.	Но опр.	0,01	Следы.	0,01	0,14	0,31	
Кустарники, корни . . . . .	0,13	<1	0,08	Следы.	0,03	0,02	0,01	Следы.	0,02	Следы.	»	0,01	Следы.	0,01	0,08	0,16	
Осока, корни . . . . .	0,30	<1	0,24	0,13	0,11	0,07	0,02	0,01	0,04	Следы.	Следы.	0,01	Следы.	0,01	0,43	0,67	
Итого (корни) . . . . .	0,72	2	0,49	0,14	0,18	0,42	0,05	0,02	0,06	0,03	Следы.	0,02	0,04	0,02	0,55	1,14	
Всего (органиче-ский massa) . . . . .	34,38	100	40,39	48,67	[3,94]	[0,99]	7,56	2,35	4,45	2,85	1,47	2,46	1,34	2,98	69,00	109,59	
Градусы в звено по содержанию элементов в природе (%) по сухому веществу					1,17	0,54	0,41	0,32	0,32	0,32	0,32	0,08	0,07	0,04	0,09	2,01	3,18

Причины. Расчет химического состава опалы хвой производят с определением химического состава лигных побегов прошлых лет.

Таблица 12

Количество химических элементов, которое удерживается истинным приростом верхового  
соснovo-сфагнового болота (кг/га)

Разрез 11. Западная Сибирь, Бараба. (По материалам Н. И. Базилевич)

Элементы	Надземная часть			Корни			Надземная часть			Корни			
	прирост	опад	истинный прирост	прирост	опад	истинный прирост	элементы	прирост	опад	истинный прирост	прирост	опад	истинный прирост
N . . . . .	39.90	24.62	15.28	0.49	0.48	0.01	Fe . . . . .	2.82	2.00	0.82	0.03	0.03	0.0
Si . . . . .	18.53	13.20	5.33	0.14	0.14	0.0	Mn . . . . .	1.47	1.06	0.41	Следы.	Следы.	Следы.
Ca . . . . .	43.76	10.08	3.68	0.48	0.48	0.0	S . . . . .	2.44	1.73	0.71	0.02	0.02	0.0
K . . . . .	10.87	6.73	4.14	0.12	0.12	0.0	Na . . . . .	1.33	0.98	0.35	0.01	0.01	0.0
Mg . . . . .	7.45	5.37	2.08	0.05	0.05	0.0	Cl . . . . .	2.96	0.95	2.01	0.02	0.02	0.0
P . . . . .	2.33	1.67	0.66	0.02	0.02	0.0	Сумма без N . . . . .	68.35	46.94	21.41	0.65	0.65	0.0
Al . . . . .	4.39	3.17	1.22	0.06	0.06	0.0	Сумма с N . . . . .	108.25	71.56	36.69	1.14	1.13	0.01

Таблица 13

Содержание химических элементов в растениях ельника сложного 83 лет (% на сухое растение)  
Великолукская область. (Рассчитано по материалам Ремезова, Быковой и Смирновой, 1959)

Растения и их части	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Ель	хвоя . . . . .	4.01	0.33	0.72	0.66	0.10	0.14	0.18	0.01	0.07	0.13	2.34
	стволы . . . . .	0.11	0.01	0.17	0.08	0.02	0.02	0.02	Следы.	0.01	0.04	0.37
	ветви мелкие . . . . .	0.58	0.05	0.48	0.38	0.09	0.11	0.17	0.01	0.03	0.12	2.02
	ветви крупные . . . . .	0.31	0.01	0.49	0.11	0.04	0.04	0.04	Следы.	0.02	0.04	0.79
	корни крупные (+ лапы и комли) . . . . .	0.30	0.03	0.39	0.16	0.02	0.04	0.07	0.01	0.02	0.04	0.78
	корни мелкие . . . . .	0.71	0.04	0.53	0.20	0.06	0.11	0.19	0.02	0.03	0.11	2.00
Травы	надземная часть . . . . .	2.49	0.77	1.79	4.00	0.54	0.23	0.32	0.06	0.07	0.46	8.24
	корни . . . . .	1.62	0.09	0.62	1.06	0.25	0.22	0.24	0.03	0.05	0.17	2.73
Ель, хвоя, опад . . . . .	0.98	0.53	0.93	0.11	0.07	0.08	0.08	0.09	0.01	0.09	0.03	1.94
												2.92

Таблица 14

Содержание химических элементов в фитомассе ельника сложного 83 лет (кг/га)  
Великолукская область. (Рассчитано по материалам Ремезова, Быковой и Смирновой, 1959)

Растения и их части	Фитомасса (кг/га)	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Ель, хвоя . . . . .	188.0	189.88	62.04	135.36	124.08	18.80	26.32	33.84	1.88	13.16	24.44	439.92	629.80
Травяной покров, листья . . . . .	6.30	15.69	4.85	44.28	25.20	3.40	1.45	2.02	0.38	0.44	2.90	51.92	67.61
Итого (зеленая часть) . . . . .	194.30	205.57	66.89	146.64	149.28	22.20	27.77	35.86	2.26	13.60	27.34	491.84	697.41
Ель	стволы . . . . .	2271.0	249.84	22.71	386.07	181.68	45.42	45.42	45.42	Следы.	22.71	90.84	840.27
	ветви мелкие . . . . .	109.0	63.22	5.45	52.32	41.42	9.81	11.99	18.53	1.09	3.27	13.08	156.96
	ветви крупные . . . . .	229.0	70.99	2.29	412.21	25.19	9.16	9.16	9.16	Следы.	4.58	9.16	180.91
Итого (ветви ели) . . . . .	338.0	134.21	7.74	164.53	66.61	18.97	21.15	27.69	1.09	7.85	22.24	337.87	472.08
Итого (многолетняя надземная часть) . . . . .	2609.0	384.02	30.45	550.60	248.29	64.39	66.57	73.11	1.09	30.56	113.08	1178.14	1562.16
Итого (надземная часть) . . . . .	2803.30	589.59	97.34	697.24	397.57	86.59	94.34	108.97	3.35	44.16	140.42	1669.98	2259.57
Ель	корни крупные . . . . .	732.0	219.60	21.96	285.48	117.12	14.64	29.28	51.24	7.32	14.64	29.28	570.96
	корни мелкие . . . . .	36.0	25.56	1.44	19.08	7.20	2.16	3.96	6.84	0.72	1.08	3.96	46.44
Травы, корни . . . . .	7.58	12.28	0.68	4.70	8.03	1.90	1.67	1.82	0.23	0.38	1.29	20.70	32.98
Итого (корни) . . . . .	775.58	257.44	24.08	309.26	132.35	18.70	34.91	59.90	8.27	16.10	34.53	638.10	895.54
Всего (фитомасса) . . . . .	3578.88	847.03	121.42	1006.5	529.92	105.29	129.25	168.87	11.62	60.26	174.95	2308.08	3155.44

Таблица 15

Потребление химических элементов на построение прироста ельника сложного 83 лет (кг/га)  
Великолукская область. (Рассчитано по материалам Ремезова, Быковой и Смирновой, 1959)

Растения и их части	Прирост (кг/га)	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Ель, хвой . . . . .	21.70	21.92	11.50	20.48	14.32	2.47	3.04	3.91	0.22	1.95	2.82	60.41	82.03
Травяной покров, листья . .	6.30	15.69	4.85	11.28	25.20	3.40	1.45	2.02	0.38	0.44	2.90	51.92	67.61
Итого (зеленая часть) . .	28.0	37.61	16.35	31.46	39.52	5.57	4.49	5.93	0.60	2.39	5.72	112.03	149.64
Ель { стволы . . . . .	29.14	3.21	0.29	4.95	2.33	0.58	0.58	0.58	Следы.	0.29	1.17	10.77	13.98
{ ветви мелкие . . . . .	4.42	0.82	0.07	0.68	0.54	0.43	0.17	0.24	0.01	0.04	0.47	2.05	2.87
{ ветви крупные . . . . .	2.88	0.89	0.03	1.41	0.32	0.46	0.46	0.16	Следы.	0.06	0.46	2.46	3.35
Итого (ветви ели) . . .	4.30	4.71	0.40	2.09	0.86	0.29	0.33	0.40	0.01	0.10	0.33	4.51	6.22
Итого (многолетний надземная часть) . .	33.64	4.92	0.39	7.04	3.49	0.87	0.91	0.98	0.04	0.39	1.50	45.28	20.20
Итого (надземная часть) . .	61.44	42.53	16.74	38.50	42.71	6.44	5.40	6.91	0.61	2.78	7.22	127.31	169.84
Ель { корни крупные . . .	9.55	2.87	0.29	3.72	4.53	0.49	0.38	0.67	0.10	0.49	0.38	7.45	10.32
{ корни мелкие . . . . .	0.47	0.33	0.02	0.25	0.09	0.03	0.05	0.09	0.01	0.01	0.05	0.60	0.93
Травы, корни . . . . .	2.50	4.05	0.23	1.55	2.65	0.63	0.55	0.60	0.08	0.13	0.43	6.85	10.90
Итого (корни) . . . . .	12.52	7.25	0.54	5.52	4.27	0.85	0.98	4.36	0.19	0.33	0.86	14.90	22.15
Всего (прирост) . . . . .	73.96	49.78	17.28	44.02	46.98	7.29	6.38	8.27	0.80	3.11	8.08	142.21	191.99

Таблица 16

Ежегодное поступление химических элементов с опадом в ельнике сложном 83 лет (кг/га)  
Великолукская область. (Рассчитано по материалам Ремезова, Быковой и Смирновой, 1959)

Растения и их части	Опад (кг/га)	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Ель, хвой . . . . .	24.52	21.45	11.44	20.07	2.37	4.54	4.73	4.94	0.22	4.94	0.65	41.87	63.02
Травяной покров, листья . .	6.30	15.69	4.85	11.28	25.20	3.40	1.45	2.02	0.38	0.44	2.90	51.92	67.61
Итого (зеленая часть) . .	27.82	36.84	16.29	31.35	27.57	4.91	3.48	3.96	0.60	2.38	3.55	93.79	130.63
Ель { стволы . . . . .	15.25	1.68	0.45	2.50	4.22	0.31	0.31	0.32	Следы.	0.15	0.61	5.66	7.34
{ ветви мелкие . . . . .	4.57	2.65	0.23	2.49	1.74	0.41	0.50	0.78	0.04	0.14	0.55	6.58	9.23
{ ветви крупные . . . . .	3.41	0.96	0.03	1.52	0.34	0.42	0.42	0.12	Следы.	0.06	0.42	2.43	3.39
Итого (ветви ели) . . .	7.68	3.61	0.26	3.71	2.08	0.53	0.62	0.90	0.04	0.20	0.67	9.01	12.62
Итого (многолетняя надземная часть) . .	22.93	5.29	0.41	6.30	3.30	0.84	0.93	4.22	0.04	0.35	1.28	44.67	19.96
Итого (надземная часть) . .	50.75	42.13	16.70	37.65	30.87	5.75	4.41	5.48	0.64	2.73	4.83	108.46	150.59
Ель { корни крупные . . . . .	4.83	1.45	0.14	1.88	0.77	0.09	0.49	0.34	0.05	0.09	0.49	3.74	5.49
{ корни мелкие . . . . .	0.24	0.17	0.01	0.13	0.05	0.01	0.03	0.05	0.00	0.01	0.03	0.32	0.49
Травы, корни . . . . .	2.50	4.05	0.23	1.55	2.65	0.63	0.55	0.60	0.08	0.13	0.43	6.85	10.90
Итого (корни) . . . . .	7.57	5.67	0.38	3.56	3.47	0.73	0.77	0.99	0.13	0.23	0.65	10.91	16.58
Всего (опад) . . . . .	58.32	47.80	17.08	41.21	34.34	6.48	4.88	6.47	0.77	2.96	5.48	119.37	167.17

Таблица 17

Количество химических элементов, которое удерживается истинным приростом ельника сложного 83 лет (кг/га)  
Великолукская область. (Рассчитано по материалам Ремезова, Быковой и Смирновой, 1959)

Надземная часть				Корни				Надземная часть				Корни				
химические элементы	прирост	опад	истинный прирост	прирост	опад	истинный прирост	химические элементы	прирост	опад	истинный прирост	прирост	опад	истинный прирост	прирост	опад	истинный прирост
N . . . . .	42.53	42.13	0.40	7.25	5.67	1.58	Al . . . . .	6.91	5.17	1.74	1.36	0.99	0.37			
Si . . . . .	16.74	16.70	0.04	0.54	0.38	0.16	Fe . . . . .	0.61	0.64	-0.03	0.19	0.13	0.06			
Ca . . . . .	38.50	37.65	0.85	5.52	3.56	1.96	Mn . . . . .	2.78	2.73	0.05	0.33	0.23	0.10			
K . . . . .	42.71	30.87	11.84	4.27	3.47	0.80	S . . . . .	7.22	4.83	2.39	0.86	0.65	0.21			
Mg . . . . .	6.44	5.75	0.69	0.85	0.73	0.12	Сумма без N	127.31	108.46	18.85	14.90	10.91	3.99			
P . . . . .	5.40	4.11	1.29	0.98	0.77	0.21	Сумма с N	169.84	150.59	19.25	22.15	16.58	5.57			

Таблица 18

Содержание химических элементов в растениях бересняка травяного (% на сухое вещество)  
Разрез 9. Западная Сибирь. (По материалам Н. И. Базилевич)

Растения и их части		N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Береза ( <i>Betula verrucosa</i> )	листья . . . . .	2.36	0.03	1.13	0.73	0.67	0.19	0.11	0.01	0.12	0.08	0.01	0.10	3.18	5.54
	ветви . . . . .	0.81	0.01	0.41	0.16	0.07	0.06	0.03	0.01	Не опр.	0.02	Следы.	0.03	0.80	1.61
	ствол . . . . .	0.26	0.01	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	»	0.01	»	0.02	0.32	0.58
	корни крупные . . . . .	0.52	0.05	0.43	0.13	0.12	0.05	0.04	0.06	»	0.04	0.05	0.03	1.00	1.52
	корни мелкие . . . . .	1.46	0.10	0.60	0.17	0.16	0.11	0.06	0.05	0.04	0.07	0.07	0.07	1.50	2.96
Травы {	укос . . . . .	1.56	0.91	0.80	0.83	0.53	0.13	0.06	0.10	0.02	0.11	0.02	0.83	4.34	5.90
Filipendula ulmaria, надземная часть	корни . . . . .	0.76	0.60	0.94	0.38	0.34	0.14	0.16	0.16	0.07	0.45	0.02	0.11	3.07	3.83
	Carex caespitosa	1.34	0.42	1.20	1.96	1.16	0.30	0.14	0.02	Не опр.	0.13	0.05	1.20	6.58	7.92
	Lathyrus pratensis	1.12	2.19	0.33	1.98	0.34	0.13	0.08	0.03	0.02	0.21	0.01	1.11	6.43	7.55
	Vicia cracca	3.68	0.14	0.98	0.85	0.54	0.19	0.11	0.01	Не опр.	0.08	0.02	0.98	3.90	7.58
	Береза {	опавшие листья . . . . .	1.50	0.24	1.23	0.56	0.64	0.18	0.09	0.01	0.13	0.07	0.01	0.07	3.23
Береза	подстилка . . . . .	2.12	1.36	1.45	0.34	0.62	0.16	0.64	0.51	0.20	0.40	0.01	0.06	5.45	7.57

Таблица 19

Содержание химических элементов в фитомассе и подстилке бересняка травяного (кг/га)  
Разрез 9. Западная Сибирь. (По материалам Н. И. Базилевич)

Растения и их части	Фитомасса (ц/га)	% от веса фитомассы	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Береза ( <i>Betula verrucosa</i> ), листья . . . . .	45	2	106.0	4.35	50.90	32.80	30.12	8.54	4.95	0.45	5.40	3.60	0.45	4.50	143.06	249.06
Травы, надземная часть	7	< 1	10.90	6.37	5.60	5.80	3.70	0.91	0.42	0.70	0.14	0.77	0.14	5.80	30.35	41.25
Итого (зеленая часть)	52	2	116.90	7.72	56.50	38.60	33.82	9.45	5.37	1.15	5.54	4.37	0.59	10.30	173.41	290.31
Береза { ветви . . . . .	142	7	115.0	4.42	58.20	22.66	9.95	8.52	4.26	1.42	Не опр.	2.84	Следы.	4.26	113.53	228.53
Береза { стволы . . . . .	1500	70	390.0	15.0	195.0	105.0	60.0	30.0	15.0	15.0	»	15.0	30.0	480.0	870.0	
	Итого (многолетняя надземная часть)	1642	77	505.0	16.42	253.20	127.66	69.95	38.52	19.26	16.42	»	17.84	»	34.26	593.53
Итого (надземная часть)	1694	79	621.90	24.14	309.70	166.26	103.77	47.97	24.63	17.57	5.54	22.21	0.59	44.56	766.94	388.84
Береза { корни крупные	400	20	208.0	20.0	172.0	52.0	48.0	20.0	16.0	24.0	Следы.	16.0	20.0	12.0	400.0	608.0
Береза { корни мелкие	24	35.40	2.40	14.40	4.08	3.85	2.65	1.44	1.20	0.96	1.68	1.68	1.68	36.02	71.12	
	Травы, корни . . . . .	45	1	11.40	9.0	14.10	5.70	5.10	2.10	2.40	2.40	1.05	2.24	0.30	1.65	46.04
Итого (корни) . . . . .	439	21	254.50	31.40	200.50	61.78	56.95	24.75	19.84	27.60	2.01	19.92	21.98	15.33	482.06	736.56
Всего (фитомасса) . .	2133	100	876.40	55.54	510.20	228.04	160.72	72.72	44.47	45.17	7.55	42.13	22.57	59.89	1249.00	2125.4
Подстилка . . . . .	320	—	685.00	435.00	464.00	108.70	198.20	54.40	202.20	163.00	64.00	32.00	3.20	19.40	1741.10	2426.10

Средневзвешенное содержание элементов в фитомассе (% на сухое вещество)

0.41 | 0.03 | 0.24 | 0.11 | 0.08 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.004 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.59 | 1.0

Таблица 20

Потребление химических элементов на построение годичного прироста березняка травяного (кг/га)  
Разрез 9. Западная Сибирь. (По материалам Н. И. Базилевич)

Растения и их части	Ежегодный прирост (кг/га)	% от веса прироста	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Береза ( <i>Betula verrucosa</i> ), листья Травы, надземная часть . . . . .	45.7	36.5	106.00	10.80	55.25	32.80	30.12	8.54	4.95	0.45	5.85	3.60	0.45	4.50	157.31	263.31
Итого (зеленая часть) . . . . .	52	41	116.90	17.17	60.85	38.60	33.82	9.45	5.37	1.15	5.94	4.37	0.59	10.30	187.66	304.56
Береза { ветви . . . . . стволы . . . . .	5.50	4.40	4.05	0.05	2.05	0.80	0.35	0.30	0.45	0.05	0.50	0.40	Следы.	0.45	4.00	8.05
Итого (многолетняя надземная часть) . . . . .	55	44	117.05	0.55	8.55	4.30	2.35	1.30	0.65	0.55	»	0.60	»	1.15	20.00	37.05
Итого (надземная часть) . . . . .	107	85	133.95	17.72	69.40	42.90	36.17	10.75	6.02	1.70	5.99	4.97	0.59	11.45	207.66	341.61
Береза { корни крупные . . . корни мелкие . . . Травы, корни . . . . .	43.15	10.4	6.76	0.65	5.60	1.69	1.56	0.65	0.52	0.78	Не опр.	0.52	0.65	0.39	13.01	19.77
Итого (корни) . . . . .	19	15	12.02	3.75	10.90	3.76	3.42	1.46	1.38	1.63	0.36	1.34	0.82	1.01	29.83	41.85
Всего (прирост текущего года)	126	100	145.97	21.47	80.30	46.66	39.59	12.21	7.40	3.33	6.35	6.34	1.41	12.46	237.49	383.46
Средневзвешенное содержание элементов в приросте (% на сухое вещество)																
			4.16	0.17	0.64	0.37	0.31	0.10	0.06	0.03	0.05	0.05	0.01	0.10	1.89	3.05

Таблица 21

Ежегодное поступление химических элементов с опадом в березняке травяном (кг/га)  
Разрез 9. Западная Сибирь. (По материалам Н. И. Базилевич)

Растения и их части	Опад (кг/га)	(% от веса опада)	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Береза ( <i>Betula verrucosa</i> ), листья * . . . . . Травы, надземная часть (100 % от запаса) . . . . .	45.0	62	68.50	10.80	55.30	25.20	28.80	8.40	4.05	0.45	5.85	3.14	0.45	3.14	145.28	213.78
	7.0	10	10.90	6.37	5.60	5.80	3.70	0.91	0.42	0.70	0.14	0.77	0.14	5.80	30.35	41.25
Итого (зеленая часть) . . . . .	52.0	72	79.40	17.17	60.90	31.00	32.50	9.01	4.47	1.15	5.99	3.91	0.59	8.94	175.63	255.03
Береза { ветви . . . . . ствол . . . . .	4.9	2	1.49	0.02	0.76	0.29	0.43	0.11	0.06	0.02	Не опр.	0.04	Следы.	0.06	1.48	2.97
	10.5	15	2.73	0.41	1.36	0.73	0.42	0.21	0.11	0.11	»	0.11	0.21	3.37	6.10	
Итого (многолетняя надземная часть) . . . . .	12.4	17	4.22	0.43	2.42	1.02	0.55	0.32	0.17	0.13	Не опр.	0.45	Следы.	0.27	4.85	9.07
Итого (надземная часть) . . . . .	64.4	89	83.62	17.30	63.02	32.02	33.05	9.33	4.64	1.28	5.99	4.06	0.59	9.21	180.48	264.10
Береза { корни крупные . . . корни мелкие . . . Травы, корни . . . . .	2.8	4	1.45	0.44	1.20	0.37	0.33	0.14	0.44	0.17	Следы.	0.14	0.14	0.09	2.80	4.25
	0.2	1	0.35	0.02	0.14	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.36	0.71
	5.0	7	3.80	3.00	4.70	1.90	1.70	0.70	0.80	0.80	0.32	0.75	0.10	0.55	15.32	19.12
Итого (корни) . . . . .	8.0	11	5.60	3.16	6.04	2.31	2.07	0.87	0.92	0.98	0.33	0.88	0.26	0.66	18.48	24.08
Всего (опад) . . . . .	72.4	100	89.22	20.46	69.06	34.33	35.42	10.20	5.56	2.26	6.32	4.94	0.85	9.87	198.96	288.48
Средневзвешенное содержание элементов в опаде (% на сухое вещество)																
			4.23	0.28	0.96	0.47	0.43	0.44	0.03	0.02	0.09	0.07	0.04	0.14	2.74	3.97
То же (мг/кг.)			—	—	47.90	12.00	39.47	13.80	8.90	4.07	3.26	4.37	0.44	3.95		

Таблица 22

Количество химических элементов, которое удерживается истинным приростом березняка травного (кг/га)  
Разрез 9. Западная Сибирь. (По материалам П. И. Базилевич)

Химические элементы	Надземная часть			Корни		
	прирост	опад	истинный прирост	прирост	опад	истинный прирост
N . . . . .	133.95	83.62	50.33	12.02	5.60	6.42
Si . . . . .	17.72	17.30	0.42	3.75	3.16	0.59
Ca . . . . .	69.40	63.02	6.38	10.90	6.04	4.86
K . . . . .	42.90	32.02	10.88	3.76	2.31	1.45
Mg . . . . .	36.47	33.05	3.42	3.42	2.07	1.35
P . . . . .	10.75	9.33	1.42	1.46	0.87	0.59
Al . . . . .	6.02	4.64	1.38	1.38	0.92	0.46
Fe . . . . .	4.70	4.28	0.42	1.63	0.98	0.65
Mn . . . . .	5.94	5.99	0.05	0.36	0.33	0.03
S . . . . .	4.97	4.06	0.91	1.34	0.88	0.46
Na . . . . .	0.59	0.59	0.0	0.82	0.26	0.56
Cl . . . . .	11.45	9.21	2.24	1.01	0.66	0.35
Сумма без N . . . .	207.61	180.48	27.48	29.83	18.48	11.35
Сумма с N . . . .	341.61	264.10	77.51	41.85	24.08	17.77

Примечание. Истинный прирост в сообществе 53.6 кг/га, в том числе корни 11.0, надземные многолетние части 42.6 кг/га.

Таблица 23

Содержание зольных элементов и азота в растениях засушливых степей на южных черноземах (в % на сухое растение)  
Разрез 46. Западная Сибирь. (По материалам Базилевич, 1965)

Растения и их части	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N	
Разнотравно-злаковая степь	надземная часть . . . . .	1.20	1.67	0.20	0.48	0.06	0.08	0.05	0.01	0.01	0.00	0.03	0.20	2.88	4.08
	корни . . . . .	0.76	1.58	0.40	0.32	0.09	0.03	0.18	0.06	Не опр.	0.05	0.04	0.06	2.82	3.58
	ветошь . . . . .	0.60	1.75	0.44	0.08	0.05	0.04	0.05	0.02	0.01	0.06	0.02	0.05	2.27	2.87
	опад . . . . .	1.00	1.76	0.32	0.08	0.10	0.04	0.48	0.04	0.01	0.06	0.02	0.02	2.63	3.63
	старый опад (подстилка)	1.40	4.56	0.44	0.08	0.14	0.04	0.72	0.15	0.02	0.05	0.02	0.01	6.23	7.63
<i>Festuca sulcata</i> , надземная часть . . . . .	1.10	1.74	0.16	0.72	0.06	0.08	0.03	0.01	Не опр.	0.08	0.01	0.17	3.06	4.16	
<i>Gallium verum</i> "	1.32	0.50	0.74	4.12	0.24	0.24	0.08	0.02	" "	0.15	0.03	0.28	3.40	4.72	
<i>Medicago falcata</i> "	2.62	0.06	4.18	2.38	0.23	0.26	0.10	0.02	" "	0.14	0.02	0.30	4.69	7.31	

Таблица 24

Накопление зольных элементов и азота в фитомассе и «стенном войлоке», потребление на построение годичного прироста и поступление с опадом в разнотравно-злаковой засушливой степи (кг/га)  
Разрез 46. Западная Сибирь. (По материалам Базилевич, 1965)

Растения и их части	Сухая органическая масса (ц/га)	% от фитомассы	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
<b>Накапливается в фитомассе</b>																
Надземная часть . . . . .	25	12	30.0	41.67	5.0	12.0	1.50	2.0	1.25	0.25	0.25	0.25	0.75	5.0	71.92	101.92
Корни . . . . .	180	88	136.8	284.0	72.0	57.5	16.20	5.4	32.4	10.80	Не опр.	9.0	7.20	10.8	505.30	642.41
<b>Итого (фитомасса)</b>																
	205	100	166.8	325.67	77.0	69.5	17.7	7.4	33.65	14.05	0.25	14.25	7.95	15.8	577.22	744.02
<b>Содержится в «стенном войлоке»</b>																
Ветошь . . . . .	14	33	8.38	24.50	1.96	4.42	0.70	0.56	0.70	0.28	0.14	0.84	0.28	0.70	31.78	40.16
Опад . . . . .	12	29	12.0	21.05	3.82	0.96	4.20	0.48	2.46	0.48	0.42	0.72	0.24	0.24	31.47	43.47
Старый опад . . . . .	16	38	22.40	72.96	7.04	4.28	2.24	0.64	14.52	2.40	0.32	0.80	0.32	0.16	99.68	122.08
Итого . . . . .	42	100	42.78	118.51	12.82	3.36	4.44	1.68	14.38	3.16	0.58	2.36	0.84	1.10	162.93	205.71
<b>Потребляется на построение годичного прироста и поступает с опадом</b>																
Надземная часть . . . . .	25	30	30.0	41.67	5.0	12.0	1.50	2.0	1.25	0.25	0.25	2.25	0.75	5.0	71.92	101.92
Корни . . . . .	60	70	45.6	94.80	24.0	19.2	5.40	1.8	40.80	3.60	Не опр.	3.0	2.40	3.6	168.60	214.20
* Итого . . . . .	85	100	75.6	136.77	29.0	31.2	6.90	3.8	12.05	3.85	0.25	5.25	3.15	8.6	240.52	316.42
<b>Среднеизвестное содержание элементов опада-прироста (% на сухое вещество)</b>																
	[0.76   1.36]	[0.29   0.31]	[0.07   0.04]	[0.12   0.04]	[0.003   0.05]	[0.03   0.03]	[0.09   0.09]	[2.41   2.41]	[3.16   3.16]							
	[—   —]	[—   —]	[—   —]	[—   —]	[—   —]	[—   —]	[—   —]	[—   —]	[—   —]							

Таблица 25

Содержание зольных элементов и азота в яровой пшенице *Triticum aestivum* var. *mittagii* (%) на сухое вещество)  
Южные черноземы, Западная Сибирь. (По материалам Базилевич, 1965)

Части растений	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Зерно . . . . .	2.18	0.01	0.02	0.36	0.09	0.30	0.02	0.01	0.03	0.01	0.41	0.96	3.44
Стебли, солома, полоха . . . . .	0.57	1.32	0.09	1.05	0.11	0.05	0.08	0.01	0.04	0.01	0.33	3.09	3.66
Корни . . . . .	0.56	1.47	0.24	1.47	0.10	0.02	0.04	0.05	0.06	0.43	0.06	3.04	3.60

Таблица 26

Накопление зольных элементов и азота в фитомассе, вынос их с урожаем и поступление в почву с пожнивными остатками  
в посевах яровой пшеницы *Triticum aestivum* var. *mittagii* (кг/га)  
Южные черноземы, Западная Сибирь. (По материалам Базилевич, 1965)

Части растений	Сухая органическая масса (цт/га)	% от фитомассы	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
Накапливается в фитомассе															
Зерно . . . . .	27.0	29	58.9	0.30	0.50	9.70	2.40	8.40	0.50	0.30	0.80	0.30	3.0	25.90	84.80
Солома, полоха . . . . .	52.5	55	29.9	69.40	4.75	44.02	5.58	2.63	4.20	0.53	2.10	0.53	17.3	162.04	191.94
Корни . . . . .	45.0	46	8.4	17.54	3.60	17.51	1.50	0.30	0.60	0.75	0.90	1.95	0.9	45.52	53.92
Итого . . . . .	94.5	100	97.2	87.21	8.85	71.23	9.48	11.03	5.30	4.58	3.80	2.78	21.2	233.46	330.66
Выносится с урожаем															
Зерно . . . . .	26.0	44	56.60	0.26	0.52	9.35	2.34	7.80	0.52	0.26	0.78	0.26	2.88	24.97	81.57
Солома, полоха . . . . .	32.5	56	48.53	42.80	2.93	34.05	3.58	1.63	2.60	0.33	1.30	0.33	10.73	100.28	118.81
Итого . . . . .	58.5	100	75.13	43.06	3.45	43.40	5.92	9.43	3.12	0.59	2.08	0.59	13.61	125.25	200.38
Поступает в почву с пожнивными остатками															
Зерно . . . . .	4.0	3	2.18	0.01	0.02	0.36	0.09	0.30	0.02	0.01	0.03	0.01	0.11	0.96	3.14
Солома, полоха . . . . .	20.0	55	41.40	26.40	4.80	21.0	2.20	1.0	1.60	0.20	0.80	0.20	6.60	61.80	73.20
Корни . . . . .	45.0	42	8.40	17.54	3.60	17.51	1.50	0.30	0.60	0.75	0.90	1.95	0.90	45.52	53.92
Итого . . . . .	36.0	100	24.98	43.92	5.42	38.87	3.79	4.60	2.22	0.96	1.73	2.16	7.61	108.28	130.26

Таблица 27

Содержание химических элементов в растениях мятылкового полыника (*Artemisia Sieberi*—*Poa sinalica*). (%) на сухое растение).  
Сирия. (По материалам Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич)

Растение и их части	N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
<i>Artemisia Sieberi</i>	2.50	0.35	1.22	2.80	0.43	0.22	0.12	0.12	0.37	0.23	0.44	6.30	8.80
	1.89	0.37	1.69	0.66	0.26	0.09	0.43	0.42	0.16	0.04	0.41	3.63	5.52
	0.76	0.15	1.53	0.50	0.12	0.05	0.05	0.06	0.21	0.13	0.05	2.85	3.61
<i>Poa sinalica</i>	4.29	2.00	0.50	0.50	0.20	0.20	0.07	0.08	0.12	0.07	0.07	3.81	5.40
	1.00	3.78	3.94	0.04	0.57	0.40	0.77	0.70	0.06	0.07	0.01	10.04	11.04
	4.16	2.05	2.08	0.04	0.41	0.07	0.48	0.39	0.10	0.02	0.01	5.64	6.81
<i>Salsola rigida</i>	3.25	0.05	2.54	2.60	2.09	0.45	0.02	0.04	1.86	0.35	0.66	40.33	43.58
	2.09	0.19	2.24	1.06	0.62	0.05	0.08	0.09	0.40	0.12	0.21	5.06	7.15
	4.94	0.44	2.71	0.25	0.39	0.04	0.05	0.05	0.16	0.01	0.10	3.87	5.81
<i>Noaea mucronata</i>	2.52	0.07	3.43	2.49	0.63	0.43	0.04	0.02	0.18	0.48	0.78	7.45	10.47
	1.16	0.17	1.29	0.33	0.07	0.04	0.05	0.06	0.11	0.06	0.08	2.26	3.42
	4.38	0.09	1.13	0.35	0.09	0.05	0.03	0.02	0.15	0.08	0.03	2.02	3.40
<i>Achillea conferta</i>	2.08	0.96	2.02	1.76	0.35	0.46	0.12	0.12	0.26	0.16	0.75	6.66	8.74
	0.93	0.89	2.52	0.10	0.44	0.04	0.17	0.22	0.09	0.04	0.08	4.59	5.52
	1.13	0.36	2.52	0.69	0.33	0.08	0.12	0.12	0.14	0.03	0.28	4.67	5.80
Эфемеры, надземная часть . . . . .	1.97	0.52	3.56	1.95	0.64	0.13	0.28	0.08	0.20	0.24	0.99	8.59	10.56

Содержание химических элементов в фитомассе мятликового  
Разрез 83. Сирия. (По материалам

Растения и их части	Фито- масса (ц/га)	% от всей фито- массы	N	Si	Ca
<i>Artemisia Sieberi</i>	листья . . . . .	0.26	2.9	0.65	0.09
	многолетние стебли .	0.83	8.8	1.57	0.31
	корни . . . . .	8.30	88.3	6.30	1.25
					42.70
	Итого . . . . .	9.39	100.0	8.52	1.65
<i>Salsola rigida</i>	листья . . . . .	0.08	0.5	0.26	0.01
	многолетние стебли .	1.85	11.7	3.86	0.35
	корни . . . . .	13.90	87.8	27.00	1.53
					37.80
	Итого . . . . .	15.83	100.0	31.12	1.89
<i>Noaea mucronata</i>	листья и однолетние побеги . . . . .	0.02	4.3	0.06	Следы.
	многолетние стебли .	0.18	11.6	0.27	0.03
	корни . . . . .	1.35	87.1	2.70	0.12
					1.53
	Итого . . . . .	1.55	100.0	3.03	0.15
<i>Achillea conferta</i>	листья . . . . .	0.003	3.3	0.01	Следы.
	многолетние стебли .	0.007	7.8	0.02	Следы.
	корни . . . . .	0.08	88.9	0.10	0.02
					0.09
	Итого . . . . .	0.09	100.0	0.43	0.02
<i>Poa sinaica</i>	листья и стебли . . .	1.5	4.4	1.80	1.95
	многолетние части .	21.5	63.3	21.50	81.50
	корни . . . . .	11.0	32.3	12.76	85.00
					22.82
	Итого . . . . .	34.0	100.0	36.06	106.05
Эфемеры	листья, стебли . . .	0.12	44.4	0.17	0.08
	корни . . . . .	0.45	55.6	0.11	0.11
					0.03
	Итого . . . . .	0.27	100.0	0.28	0.19
Итого	зеленые однолетние части . . . . .	1.983	3	2.95	2.13
	надземные многолетние части . . . . .	24.367	40	27.22	82.19
	корни . . . . .	34.78	57	48.97	9.080
					25.63
					74.97
	Всего . . . . .	61.13	100	79.14	100.95
					166.72

полыниника (*Artemisia Sieberi*—*Poa sinaica*)  
Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич

	K	Mg	P	Al	Fe	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
	0.73	0.06	0.11	0.03	0.03	0.40	0.06	0.41	1.64	2.29
	0.55	0.08	0.22	0.41	0.40	0.43	0.03	0.09	3.02	4.59
	4.15	0.41	1.00	0.41	0.52	1.74	1.08	0.41	23.67	29.97
	5.43	0.55	1.33	0.55	0.65	1.97	1.17	0.61	28.33	36.85
	0.21	0.01	0.17	Следы.	Следы.	0.45	0.03	0.05	0.83	1.09
	1.96	0.09	4.14	0.45	0.69	0.74	0.22	0.39	9.36	13.22
	3.48	0.56	5.41	0.69	2.23	0.14	1.39	53.92	80.92	
	5.65	0.66	6.72	0.84	0.86	3.12	0.39	1.83	64.11	95.23
	0.05	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	0.02	0.14	0.20
	0.06	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.41	0.68
	0.47	0.07	0.12	0.04	0.03	0.21	0.11	0.04	2.74	5.44
	0.58	0.08	0.43	0.05	0.04	0.23	0.42	0.08	3.29	6.32
	0.01	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	0.02	0.02	0.03
	Следы.	0.01	0.02	0.04						
	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.26	0.36	
	0.41	0.01	0.01	Следы.	Следы.	0.01	0.01	0.01	0.30	0.43
	2.52	0.33	0.22	0.05	0.06	0.22	0.21	0.77	6.60	8.40
	0.86	2.15	12.25	46.60	15.00	1.29	1.50	0.22	216.37	237.87
	0.44	0.77	4.51	5.28	4.29	4.10	0.22	0.11	62.14	74.90
	3.82	3.25	16.98	21.93	19.35	2.61	1.93	1.10	285.11	321.17
	0.47	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.50	0.67
	0.05	0.01	0.06	0.03	0.01	0.01	Следы.	0.03	0.34	0.45
	0.22	0.04	0.09	0.06	0.02	0.04	0.01	0.06	0.84	1.12
	3.69	0.43	0.54	0.41	0.40	0.50	0.31	0.98	9.74	12.69
	3.43	2.33	13.62	16.87	15.28	2.48	1.76	0.72	229.18	256.40
	8.69	1.83	11.11	6.45	5.54	5.30	1.56	1.99	143.07	192.04
	15.81	4.59	25.27	23.43	20.92	7.98	3.63	3.69	381.99	461.13

Ежегодное поступление химических элементов с опадом  
Разрез №3. Сирия. (По материалам

Растение и их части	Опад (шт/га)	% от опада	N	Si	Ca
<i>Artemisia Sieberi</i>	листья . . . . .	0.26	—	0.65	0.09
	многолетние стебли . . . . .	0.04	—	0.08	0.01
	корни . . . . .	3.02	—	2.29	0.45
Итого . . . . .	3.32	14.0	3.02	0.55	5.01
<i>Salsola rigida</i>	листья . . . . .	0.08	—	0.26	0.01
	многолетние стебли . . . . .	0.09	—	0.15	0.01
	корни . . . . .	4.16	—	2.26	0.13
Итого . . . . .	4.33	5.6	2.67	0.15	3.53
<i>Noaea mucronata</i>	листья и однолетние побеги . . . . .	0.02	—	0.06	Следы.
	многолетние стебли . . . . .	0.01	—	0.02	Следы.
	корни . . . . .	0.20	—	0.40	0.02
Итого . . . . .	0.23	1.0	0.48	0.02	0.30
<i>Achillea conferta</i>	листья . . . . .	0.003	—	0.01	Следы.
	многолетние стебли . . . . .	0.0004	—	Следы.	Следы.
	корни . . . . .	0.044	—	0.06	0.01
Итого . . . . .	0.0474	<1	0.07	0.01	0.06
<i>Poa sinica</i>	листья и стебли . . . . .	4.5	—	4.80	1.95
	многолетние части . . . . .	10.8	—	40.80	40.50
	корни . . . . .	6.3	—	7.30	12.90
Итого . . . . .	18.6	78.2	49.90	55.35	55.68
Эфемеры	листья и стебли . . . . .	0.12	—	0.17	0.08
	корни . . . . .	0.15	—	0.11	0.08
Итого . . . . .	0.27	1.1	0.28	0.19	0.11
Итого	зеленые однолетние части . . . . .	4.983	8	2.95	2.43
	надземные многолетние части . . . . .	10.94	46	11.05	40.52
	корни . . . . .	10.874	46	12.42	13.62
Всего . . . . .	23.79	100	26.42	56.27	64.69

маттикового полыниника (*Artemisia Sieberi*—*Poa sinica*) (шт/га)  
Л. Е. Родина и И. И. Базилевич

K	P	Mg	Al	Fe	S	Na	Cl	Сумма элементов без N	Сумма элементов с N
0.73	0.06	0.41	0.03	0.03	0.10	0.06	0.11	1.64	2.29
0.03	Следы.	0.01	0.01	0.01	0.01	Следы.	0.01	0.46	0.24
1.52	0.45	0.36	0.15	0.19	0.64	0.39	0.15	8.62	10.91
2.28	0.21	0.48	0.19	0.23	0.75	0.45	0.27	10.42	13.44
0.21	0.01	0.47	Следы.	Следы.	0.15	0.03	0.05	0.83	1.09
0.08	Следы.	0.05	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.38	0.53
0.29	0.05	0.45	0.06	0.06	0.19	0.01	0.12	4.52	6.78
0.58	0.06	0.67	0.07	0.07	0.37	0.05	0.18	5.73	8.40
0.05	Следы.	0.01	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	0.02	0.15	0.21
Следы.	Следы.	0.01	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	0.01	0.03
0.07	0.02	0.02	0.01	Следы.	0.03	0.02	0.03	0.41	0.81
0.42	0.01	0.03	0.01	Следы.	Следы.	Следы.	Следы.	0.57	1.05
0.01	Следы.	0.02	0.03						
Следы.	Следы.								
0.06	Следы.	0.12	0.48						
0.07	Следы.	0.14	0.21						
2.52	0.33	0.22	0.05	0.06	0.22	0.21	0.77	6.60	8.40
0.43	1.08	6.15	8.30	7.50	0.65	0.75	0.11	107.82	118.62
0.25	0.45	2.59	3.02	2.45	0.63	0.43	0.06	35.54	42.84
3.20	1.86	8.96	11.37	10.01	1.50	1.09	0.94	149.96	169.86
0.47	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.50	0.67
0.05	0.01	0.06	0.03	0.01	Следы.	Следы.	0.03	0.34	0.45
0.22	0.04	0.09	0.06	0.02	0.04	0.01	0.06	0.84	1.42
3.69	0.43	0.54	0.44	0.10	0.50	0.31	0.98	9.74	12.69
0.54	1.08	6.21	8.32	7.52	0.69	0.76	0.13	108.37	119.42
2.24	0.67	3.48	3.27	2.71	1.50	0.55	0.37	49.55	61.97
6.47	2.18	10.23	11.70	10.33	2.69	1.62	1.48	167.66	194.08

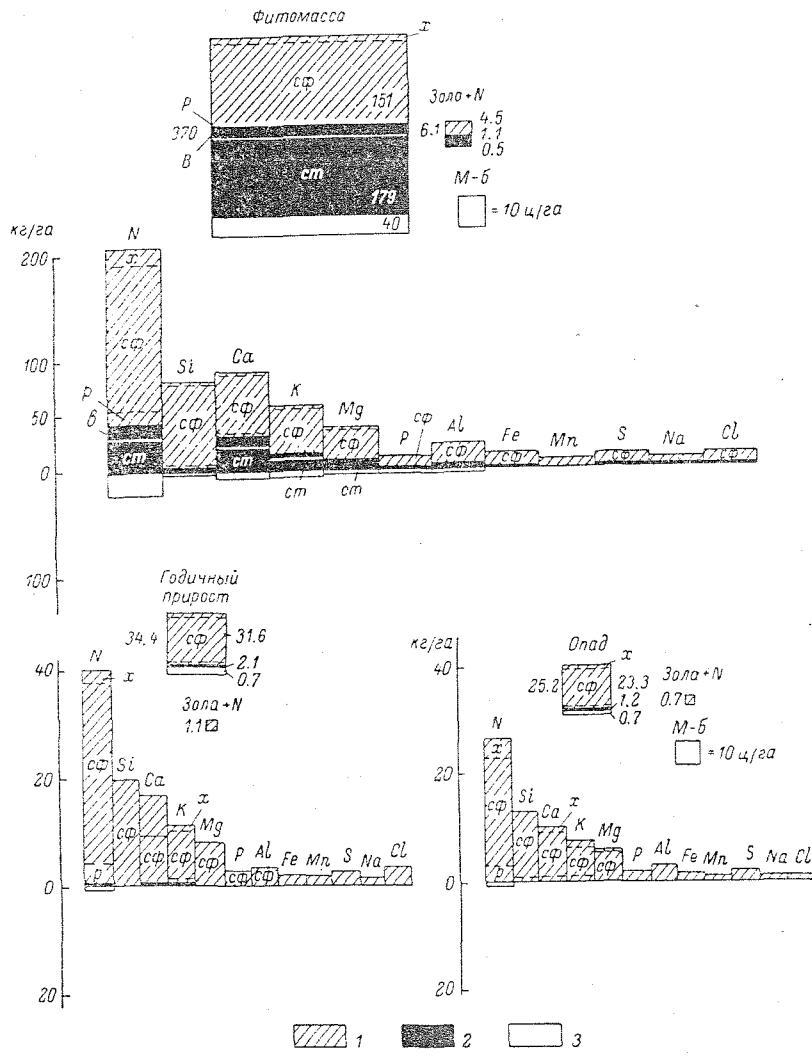


Рис. 1. Фитомасса, годичный прирост, опад (в ц/га) и содержание в них зольных элементов и азота (в кг/га). Берховое сосново-сфагновое болото. Разрез 11. Западная Сибирь, Бараба. (По материалам И. И. Базилевич).

1 — зеленые части; x — хвоя, сф — сфагновый мох, р — остальные растения; 2 — надземные многолетние части: стм — стволы, в — ветви и другие многолетние части; 3 — корни.

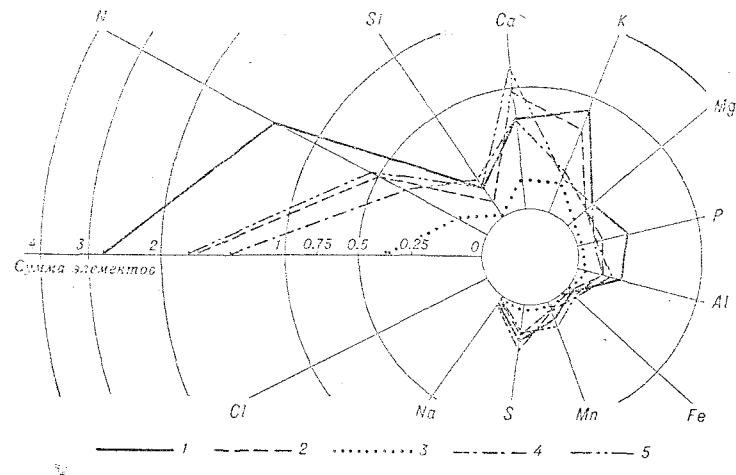


Рис. 2. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в сосне (*Pinus sylvestris*), 95 лет. (По Ремезову, Быковой и Смирновой, 1959).  
1 — хвоя; 2 — ветви мелкие; 3 — ствол; 4 — корни мелкие; 5 — опад.

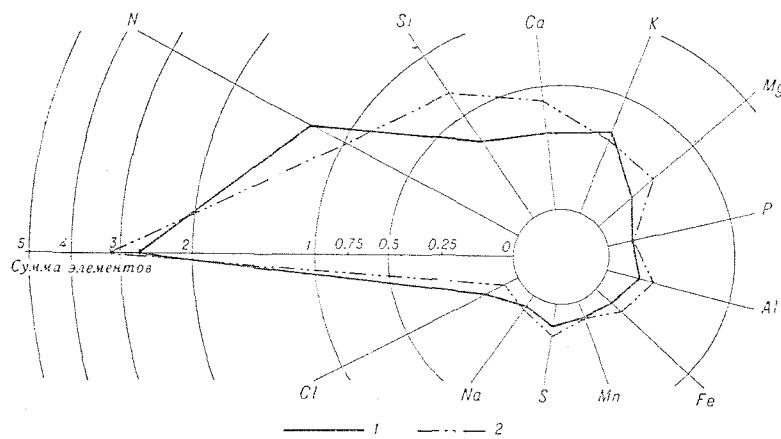


Рис. 3. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в сфагновом мхе (*Sphagnum fuscum*). Разрез 11. Западная Сибирь, Бараба. (По материалам Н. И. Базилевич).

1 — прирост текущего года; 2 — живая часть мха прошлых лет.

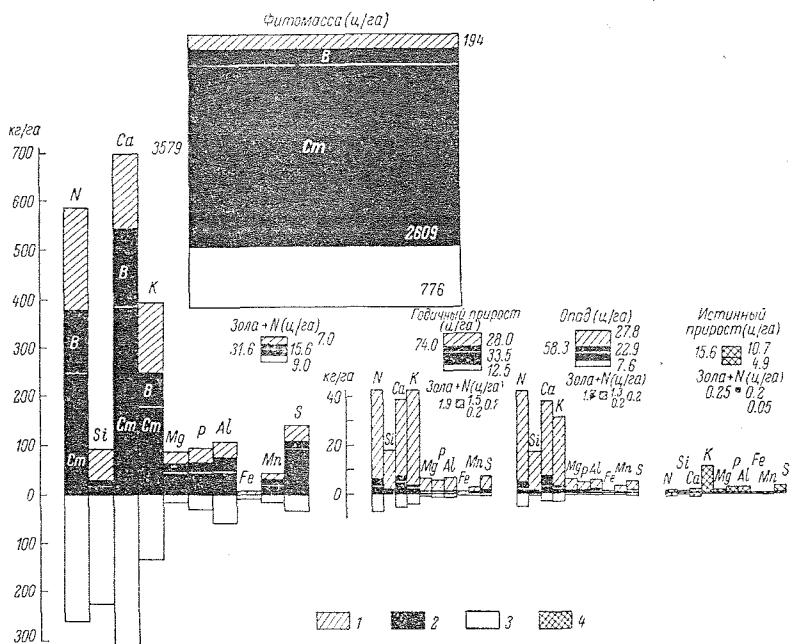


Рис. 4. Фитомасса, годичный прирост, опад, истинный прирост (в т/га) и содержание в них зольных элементов и азота (в кг/га). Ельник сложный, 83 лет. Великолукская область. (По Ремезову, Быковой и Смирновой, 1959).

1 — зеленые части; 2 — многолетние надземные части: *cм* — стволы, *в* — ветви; 3 — корни; 4 — истинный прирост.

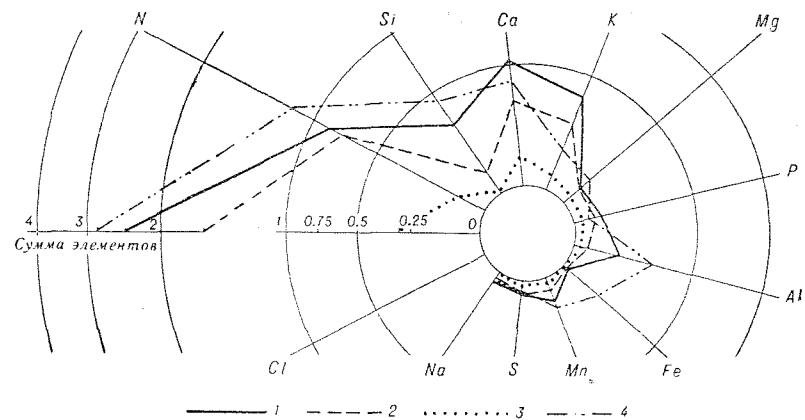


Рис. 5. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в ели (*Pinus excelsa*), 120 лет. (По Манакову, 1961).

1 — хвоя; 2 — ветви; 3 — ствол; 4 — подстилка.

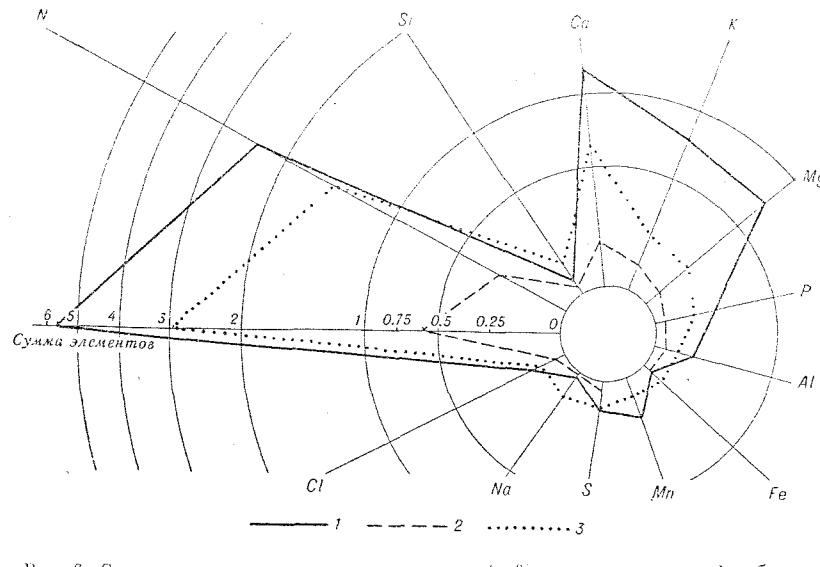


Рис. 6. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в бересе (*Betula verrucosa*). Разрез 9. Западная Сибирь. (По материалам Н. И. Базилевич).

1 — листья; 2 — ствол; 3 — корни мелкие.

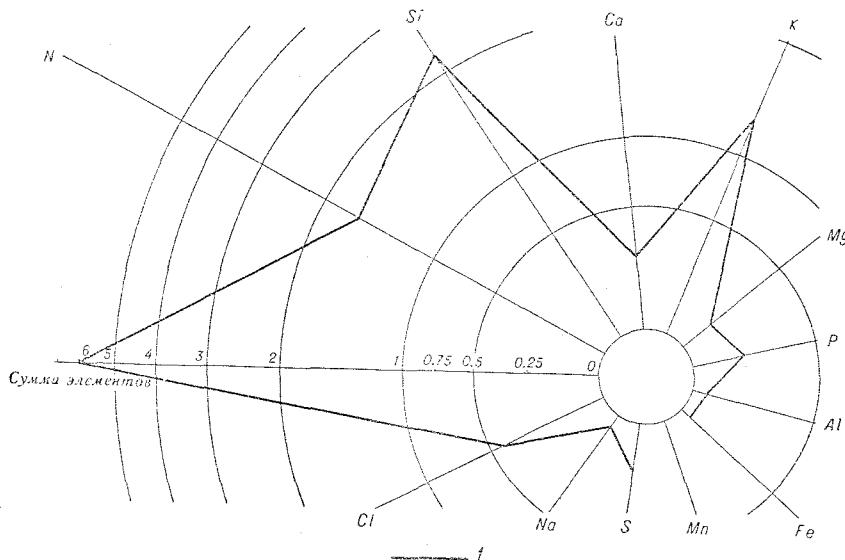


Рис. 7. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в тинчаке (*Festuca sulcata*). Стрелецкая степь. (По Басилевич, 1952).

1 — надземная часть.

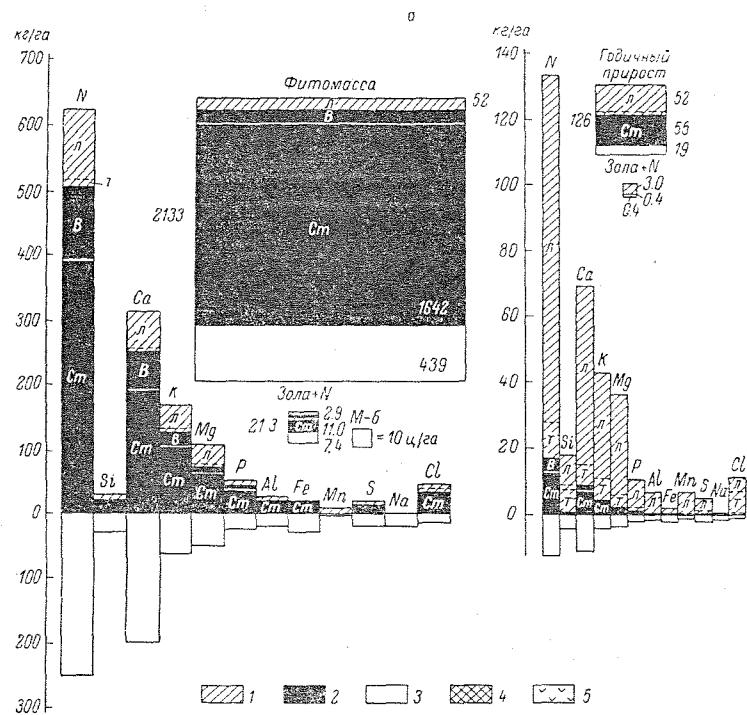


Рис. 8. Фитомасса, годичный прирост, опад, истинный прирост, запас подстилки (в ц/га) и содержание в них зольных элементов и азота (в кг/га). Бересняк травянистый. Разрез 9. Западная Сибирь. (По материалам Н. И. Базилевича).

1 — зеленые части: л — листья, т — надземные части трав; 2 — многолетние надземные части: ст — стволы, в — ветви; 3 — истинный прирост; 5 — подстилка.

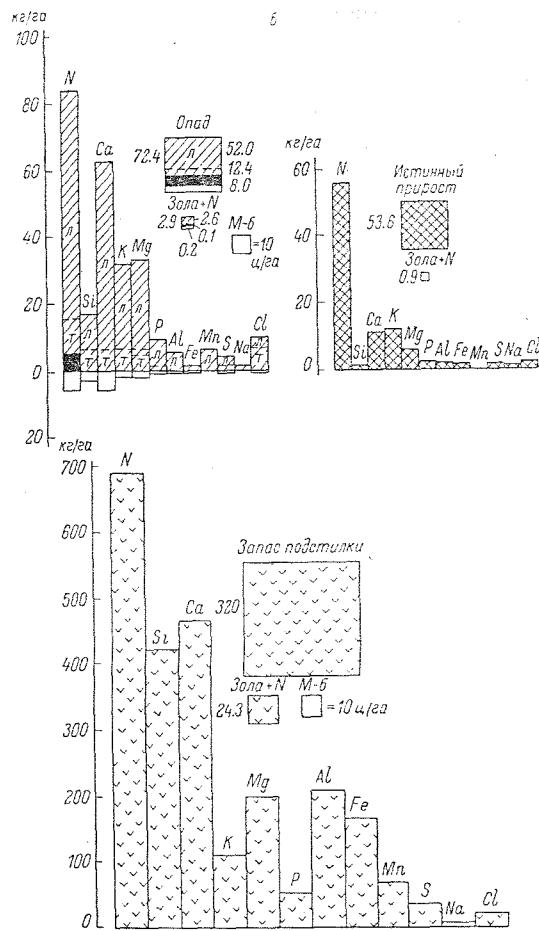


Рис. 8 (продолжение).

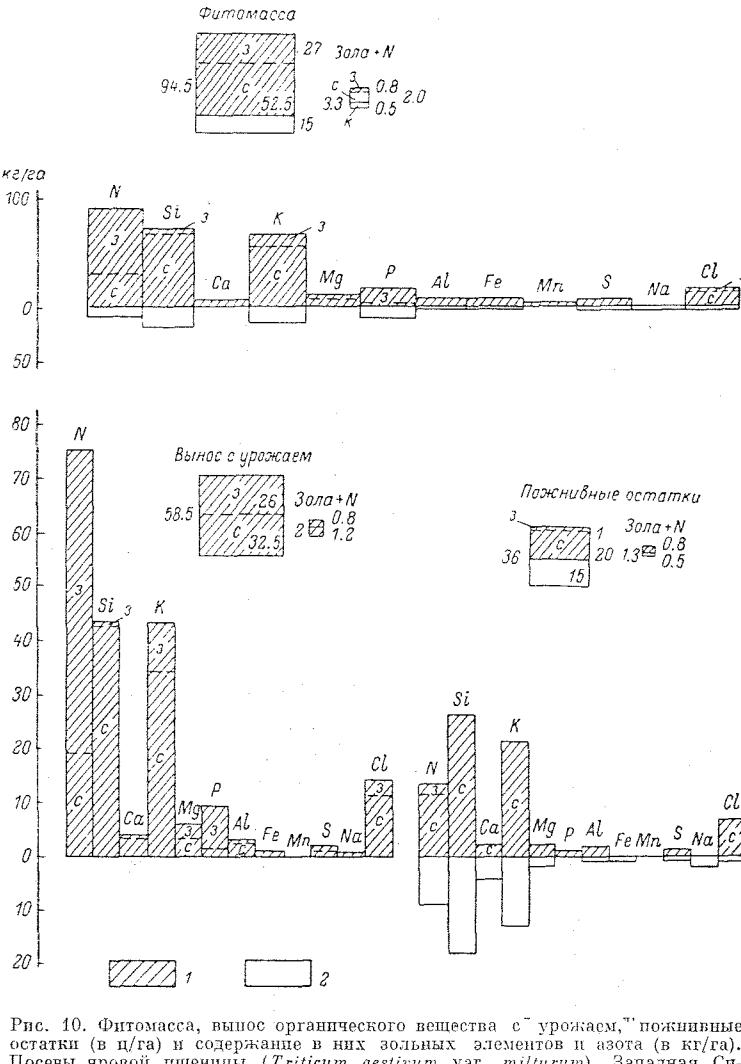
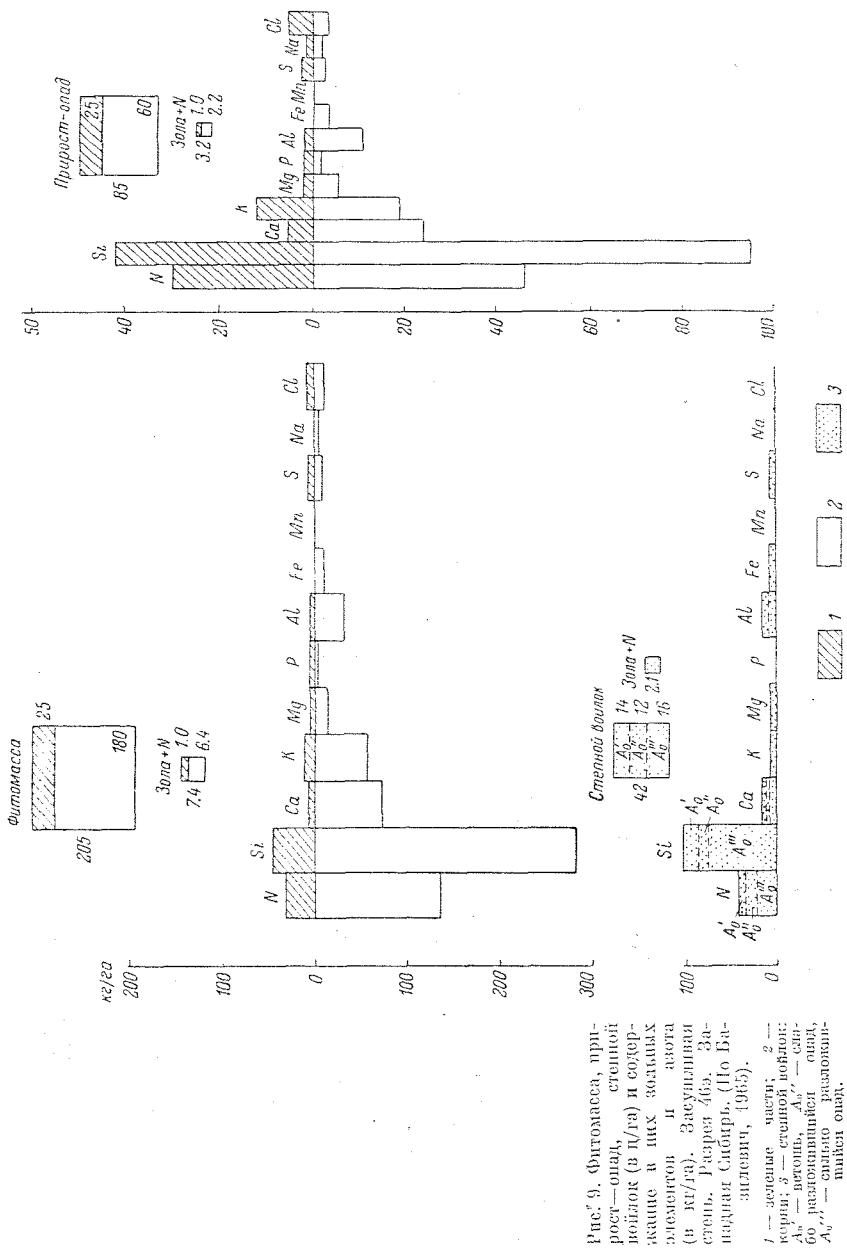


Рис. 10. Фитомасса, вынос органического вещества с "урожаем," пожнивные остатки (в п/га) и содержание в них зольных элементов и азота (в кг/га). Посевы яровой пшеницы (*Triticum aestivum* var. *multiforme*). Западная Сибирь. (По материалам Н. И. Базилевича).

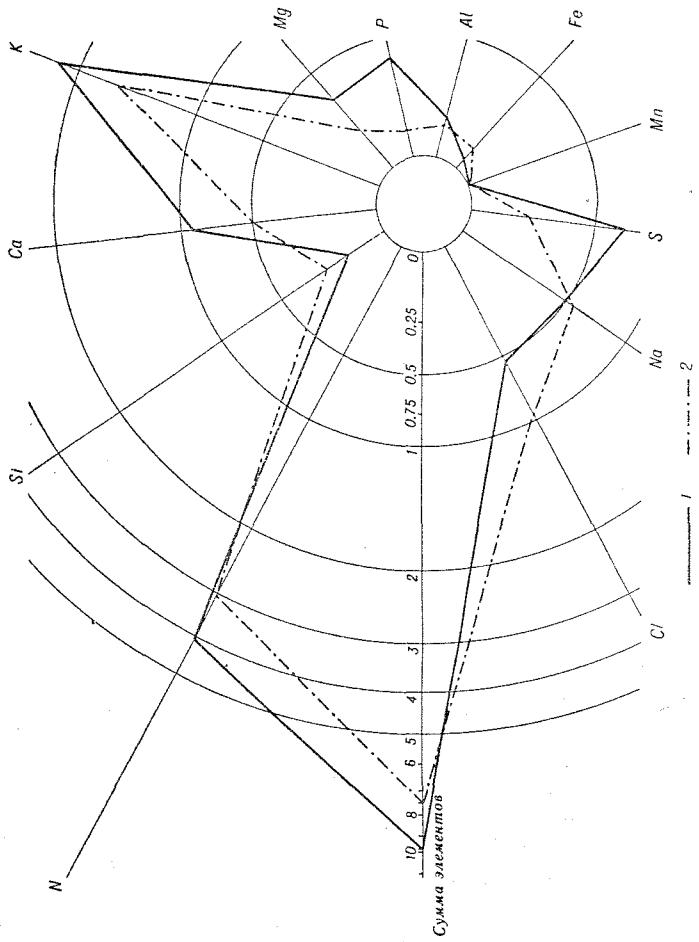


Рис. 11. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в перепонке (*Lepidium perfoliatum*). Подгорная равнина Кочегарского района Кош-Дага. (По Родину и Базилевич, 1956).  
1 — надземная часть; 2 — корни.

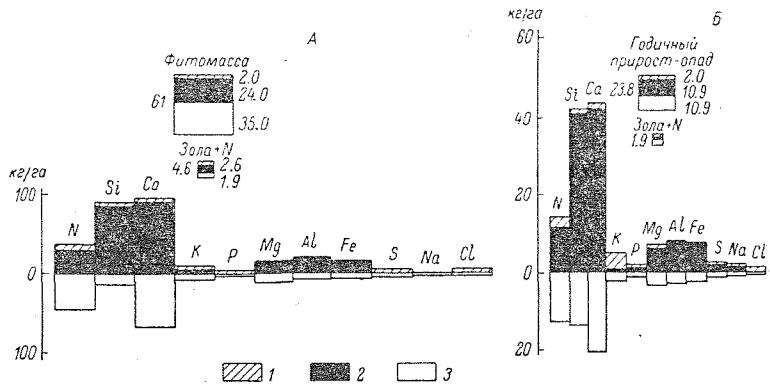


Рис. 12. Фитомасса, годичный прирост—опад (в ц/га) и содержание в них зольных элементов и азота (в кг/га). Субтропическая эфемерово-полукустарничковая пустыня. Сирия. Разрез 83. (По Родину и Базилевич, 1965).

1 — зеленые части; 2 — надземные многолетние части; 3 — корни.

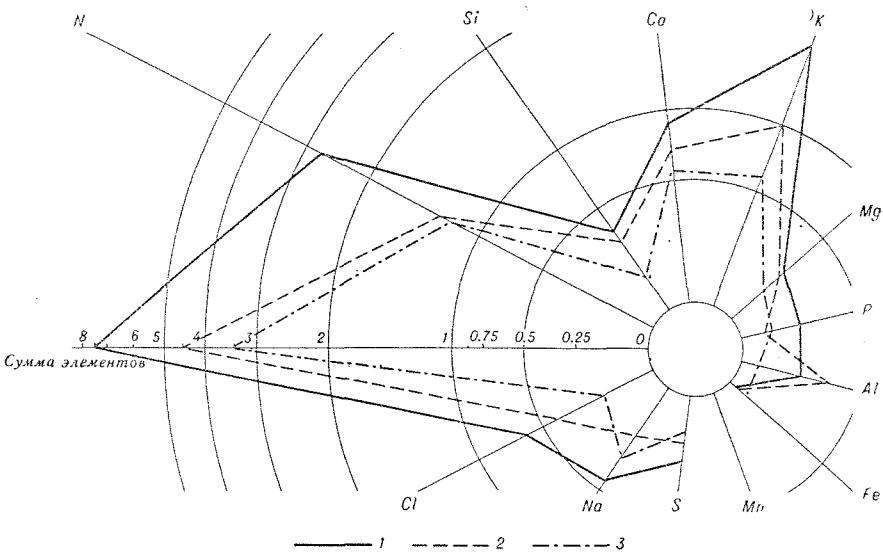


Рис. 13. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в полыни (*Artemisia kemudica*). Устюрт. (По Родину и Базилевич, 1965).

1 — листья; 2 — многолетние надземные части; 3 — корни.

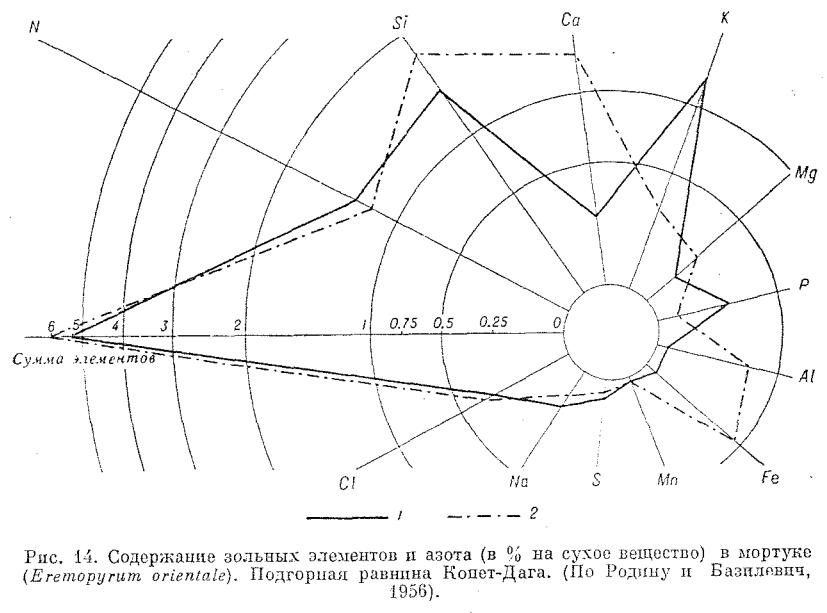


Рис. 14. Содержание зольных элементов и азота (в % на сухое вещество) в мортуке (*Eremopyrum orientale*). Подгорная равнина Конет-Дага. (По Родину и Базилевич, 1956).

1 — надземная часть; 2 — корни.

## ЛИТЕРАТУРА

- Айдинян Р. Х. 1953. Зольный обмен между древесной растительностью и черноземными почвами Каменой степи. Почвоведение, 9.
- Айдинян Р. Х. 1954. Состав золы лугово-степной растительности Каменной степи и его влияние на образование почвенных минеральных коллоидов. Почвоведение, 3.
- Александрова В. Д. 1958. Опыт определения надземной и подземной массы растительности в арктической тундре. Бот. ж., 43, 12.
- Александрова Л. Н. 1949. Методика зольного анализа при почвенных исследованиях. Пробл. советского почвоведения, 15.
- Алехин В. В. и А. А. Уранов. 1933. Методика исследования степей. Сов. бот., 2.
- Алиев С. А. 1960. О годичном приросте и разложении корневых остатков растительных сообществ в почвах Азербайджана. ДАН АзербССР, 16, 5.
- Андреев В. И. 1954а. Растительный покров восточноевропейской тундры и мероприятия по его использованию и преобразованию. Автореф. дисс. Л.
- Андреев В. И. 1954б. Прирост кормовых лишайников и приемы его регулирования. Тр. БИН АН СССР, сер. III, Геоботаника, 9.
- Андреев В. И., К. Н. Игошина и А. И. Лесков. 1935. Оленеводство. Энциклопедия и растительный покров Поларного Приуралья. Сов. оленеводство, 5.
- Андреев И. Г. и П. А. Салюков. 1938. Динамика запаса органической массы и ее химизма на полигено-эфемеровой стени. Сов. бот., 6.
- Аришуккина Е. И. 1961. Руководство по химическому анализу почв. М.
- Ахромейко А. И. 1936. О выделении корнями растений минеральных веществ. Изв. АН СССР, 4.
- Базилевич Н. И. 1955. Особенности круговорота зольных элементов и азота в некоторых почвенно-растительных зонах СССР. Почвоведение, 4.
- Базилевич Н. И. 1958. Малый биологический круговорот зольных веществ при лугово-степном и степном почвообразовании. Почвоведение, 12.
- Базилевич Н. И. 1962. Обмен минеральных элементов в различных типах степей и лугов на черноземных, каштановых почвах и солонцах. В сб.: Проблемы почвоведения. М.—Л.
- Базилевич Н. И. 1965. Геохимия почв содового засоления. М.
- Базилевич Н. И. и Л. Е. Родин. 1954. Особенности малого биологического круговорота в различных почвенно-растительных зонах. ДАН СССР, 97, 6.
- Базилевич Н. И. и Л. Е. Родин. 1956. О роли растительности в формировании и эволюции таёжных Менец-Мессерианской аллювиально-дельтовой равнины. В сб.: Такыры Западной Туркмении и пути их сельскохозяйственного освоения, М.
- Базилевич Н. И. и Л. Е. Родин. 1964а. Круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности северного полушария Старого Света. ДАН СССР, 156, 1.
- Базилевич Н. И. и Л. Е. Родин. 1964б. Типы биологического круговорота зольных элементов и азота в основных природных зонах северного полушария. В сб.: Генезис, классификация и картография почв СССР, Докл. к VIII Междунар. конгр. почвоведов, М.
- Базилевич Н. И. и Л. Е. Родин. 1964в. Биологический круговорот азота и зольных элементов в растительных сообществах тропической и субтропической зон. Бот. ж., 49, 2.
- Башкатова А. Н. 1953. Определение возраста пластика. Изв. АН ТуркмССР, 1.
- Белостоков Г. Н. 1959. Материалы к изучению корневых систем растений полупустыни. Изв. АН КазахССР, сер. бот. и почв., 1(4).
- Борискина Е. М. 1959. Взаимодействие корневых систем дуба и сосны с почвой. Тр. Воронежского Госзаповедника, VIII.

- Быкова Л. И. 1951. Методика работы по изучению круговорота азота и зольных элементов в лесных биоценозах. Почвоведение, 1.
- Быкова Л. И. 1958. К методике химического анализа корней. Почвоведение, 1.
- Бялый А. М., Н. С. Хомутова и А. Ф. Панкратова. 1953. Динамика органических остатков в травопольном севообороте. Агробиология, 5.
- Вапин С. И. 1949. Древесноведение. М.
- Васильков Б. И. 1962. Урожай грибов и погода. Бот. ж., 47, 2.
- Вернадский В. И. 1934. Очерк геохимии. 2-е русское издание. Л.
- Гедройц К. К. 1955. Избранные произведения, т. 2. Химический анализ почв. М.
- Говорухин В. С. 1950. Советское турироведение. Бюлд. МОИП, отд. бiol., 55, 1.
- Голлербах М. М. 1946. Современное состояние вопроса о роли водорослей в почве. Сб. научн. раб. Бот. инст. им. В. Л. Комарова АН СССР, выполненных в Ленинграде за три года Великой Отечественной войны (1941—1943), Л.
- Голлербах М. М. 1953. Роль водорослей в почвенных процессах. Тр. Конференции по вопросам почвенной микробиологии, связанным с внедрением в сельское хозяйство комплекса Докучаева—Костычева—Вильямса, М.
- Голлербах М. М. и Л. М. Зайцев. 1959. Методы изучения водорослей в растительных сообществах. Полевая геоботаника, 1.
- Голлербах М. М., Л. И. Новиков и Н. В. Сдобников. 1956. Водоросли такыров. В кн.: Такыры Западной Туркмении и пути их сельскохозяйственного освоения. М.
- Голубев В. Н. 1963. К методике определения абсолютной продуктивности надземной части травяного покрова луговой степи. Бот. ж., 48, 9.
- Горюнова С. В. 1952. Применение метода флуоресцентной микроскопии для определения живых и мертвых клеток водорослей. Тр. Инст. микробиологии АН СССР, 2.
- Губарева В. А. 1962. Взаимосвязь круговорота воды с ее химическим составом, корневыми и листовыми выделениями и ростом дуба. Сообщ. Лабор. лесоведения, вып. 7.
- Гудочкин М. В. 1955. Таблицы запасов и элементы таксации саксаульников юго-восточного Казахстана. Изв. АН КазахССР, сер. бiol., 10.
- Гулидова И. В. 1959. Определение поверхности хвои у ели. Сообщения Инст. леса АН СССР, 11.
- Данилов Д. Н. 1958. Производительность ерников и пняков в восточной части Большеземельской тундры. Бот. ж., 43, 3.
- Данилов М. Д. 1948. Изменение веса и влажности хвои ели обыкновенной и пихты сибирской в связи с собственным возрастом и возрастом дерева. ДАН СССР, 61, 2.
- Демьянин Н. Я. и Д. Н. Прянишников. 1934. Общие приемы анализа растительных веществ. М.
- Докучаев В. В. 1892. Наши степи прежде и теперь. СПб.
- Дружинина Н. И. 1963. О достоверности повидового учета продуктивности травяного покрова степных физико-географических фаций. Докл. Инст. геогр. Сибири и Дальн. Востока, 3. Иркутск.
- Духанин К. С. 1938. Метод изучения корневых систем при помощи бура. Химизация соц. земледелия, 5.
- Духанин К. С. 1939. Приборы для исследования корней трав и травосмесей в севооборотах и методика работы с ними. Докл. ВАСХНИЛ, 7.
- Заленский О. В. 1961. Потенциальная изменчивость фотосинтеза наземных растений различных географических зон СССР. Сессия Общего собрания Отделения биологических наук АН СССР, посвященная итогам и проблемам космической биологии, М.
- Зозулин Г. М. 1959. Подземные части основных видов травянистых растений и ассоциаций плакоров Средне-Русской лесостепи в связи с вопросами формирования растительного покрова. Тр. Центр.-Чернозем. гос. заповедника им. проф. В. В. Алексина, V, Курск.
- Иванов Д. Н. 1954. Методы спектрального анализа. Агрохимические методы исследования. 2-е изд. М.
- Ильин С. С. 1961. К методике изучения корневой системы растений. Бот. ж., 46, 10.
- Калужская В. М. 1956. К методике зольного анализа чайного куста. Почвоведение, 10.
- Калужская В. М. 1959. Руководство по зольному анализу растений. М.
- Каменецкая И. В. 1952. Семенное возобновление растительности северной степи. Автореф. дисс. Л.
- Каспиров А. И. 1959. Корни и поживные остатки однолетних и многолетних культур. Сельское хозяйство Сев.-Зап. зоны, 8.
- Качинский Н. А. 1925. Корневая система растений в почвах подзолистого типа. Тр. Моск. обл. с.-х. опытн. станции, 7.
- Климова А. К. 1958. Мятлик луковичный (эколого-биологическая и хозяйственная характеристика). Волгск.
- Ковда В. А. 1944. Биологические циклы движения и накопления солей. Почвоведение, 4—5.
- Ковда В. А. 1956. Минеральный состав растений и почвообразование. Почвоведение, 1.
- Кожевникова Н. Д. 1958. Некоторые данные по влиянию выноса на карагановую злаково-полынную сухую степь Иссык-Кульской котловины. Изв. АН КиргизССР, 5.
- Кожевникова Н. Д. 1961. Влияние выноса на надземную и подземную массу карагановой злаково-полынной стени Иссык-Кульской котловины. Изв. АН КиргизССР, сер. ест. и техн. наук, 3, 5.
- Колесников В. А. 1962. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения. М.
- Корчагин А. А. 1960. Определение возраста и длительности жизни мхов и печеночников. Полевая геоботаника, 2.
- Кошелева И. Т. и Л. Н. Новикова. 1958. О пятнистых тундрах Западной Сибири и их альгофлоре. Бот. ж., 43, 10.
- Кулаков М. И. 1965. Основы классификации шелкопрядников таежной зоны Западной Сибири. Изв. СО АН СССР, сер. бiol.-мед. наук, 12, 3.
- Куранов В. Н. 1961. К вопросу о разложении растительных остатков в почве. Почвоведение, 3.
- Лавренко Е. М. 1955. Об изучении продуктивности наземного растительного покрова. Бот. ж., 40, 3.
- Лавренко Е. М. 1959. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения. Полевая геоботаника, 1.
- Лавренко Е. М., В. Н. Адреев и В. Л. Леонтьев. 1955. Профиль продуктивности надземной части природного растительного покрова СССР от тундр к пустыням. Бот. ж., 40, 3.
- Лагурова Е. П. 1952. Роль корневых масс в рассолопощивании почв. Почвоведение, 4.
- Ларин И. В. 1936. Материалы по динамике растительной массы и химических веществ травостоя в течение вегетационного периода в различных зонах СССР. Тр. Инст. физ. географии АН СССР, 21.
- Лебедева Л. А. 1937. Гробы. Л.—М.
- Левин Ф. И. 1964. Методика количественного учета органической массы сельскохозяйственных культур при изучении биологического круговорота азота и зольных элементов. Бот. ж., 49, 8.
- Левин Ф. И. 1960. Определение массы ежегодного опада в двух типах леса Кольского полуострова. Бот. ж., 45, 3.
- Лейн З. Я. 1940. К вопросу о формах связи гумуса с минеральной частью почвы. Почвоведение, 10.
- Манаков К. Н. 1961. Поглощение растительностью минеральных элементов и азота из почвы в лесах Кольского полуострова. Почвоведение, 8.
- Маркова Л. Е. 1966. Об эфемерах Средней Азии. Бот. ж., 51, 6.
- Меэрсон Г. М. 1939. Корневые системы люцерны и травосмесей в условиях орошаемого земледелия. Сб. агрономия, 7.
- Методика полевых геоботанических исследований. 1938. М.—Л.
- Мина В. Н. 1954а. Взаимодействие между древесной растительностью и почвами в некоторых типах дубового леса южной лесостепи. Тр. Инст. леса АН СССР, 15.
- Мина В. Н. 1954б. Взаимовлияние древесной растительности и почв в дубравах южной лесостепи. Тр. Инст. леса АН СССР, 23.
- Мина В. Н. 1955. Круговорот азота и зольных элементов в дубравах лесостепи. Почвоведение, 6.
- Мина В. Н. 1965. Выщелачивание некоторых веществ атмосферными осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте. Почвоведение, 6.
- Михновский В. К. 1956. Эффективность различных приемов углубления пахотного слоя подзолистых почв. Тр. Почв. инст. им. В. В. Докучаева, 49.
- Молчанов А. А. 1961. Круговорот органического вещества в процессе роста сосняка-черничника. Сообщ. Лаб. лесоведения АН СССР, 5.
- Молчанов А. А. 1964. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. М.
- Молчанов А. А., В. А. Губарева. 1965. Формирование и рост дуба на вырубках в лесостепи. М.
- Надырай Ф. М. 1939. Некоторые данные к изучению корневых систем трав и травосмесей. Сб. агрономия, 5.
- Наринян С. Г. 1948. К вопросу о возрастных группах растений альпийских ковров в связи с надземной и подземной ярусностью. ДАН АрмССР, VIII, 2.
- Нечасева Н. Т. 1954. Засемененность пастбищ Юго-Восточных Карагумов и влияние выноса на заделку семян. Пустыни СССР и их освоение, 2.

- Нечаева Н. Т. 1957а. Методика учета запаса кормов на пустынных пастбищах. Ашхабад.
- Нечаева Н. Т. 1957б. Ритм развития однолетников-эфемеров в пустынях Туркменистана. Бюлл. МОИП, отд. биол., 62, 4.
- Нечаева Н. Т. и С. Я. Приходько. 1963. Биология и культура ферул и дорем в Туркменистане. Ашхабад.
- Нечаева Н. Т. и С. Я. Приходько. 1966. Искусственные зимние пастбища в предгорных пустынях Средней Азии. Ашхабад.
- Никитин В. В. 1952. Заметки фенолога. Изв. АН ТуркмССР, 4.
- Никитин В. В., А. Я. Полковников. 1955. Об экологической лабильности эфемеров. Изв. АН ТуркмССР, 5.
- Орлов А. Я. 1958. К методике количественного учета сосущих корней древесных пород. Бюлл. МОИП, отд. биол., 63, 3.
- Орлов М. М. 1929. Лесная таксация. Л.
- Панкова Н. А. 1960. Учет надземной массы и корней растений. В сб.: Агрохим. методы исслед. почв, М.
- Паршиников А. Л. 1957. Влияние смены ели береской на лесорастительные свойства торфяно-перегнойных почв. Сб.: Молодые лесоведы — сорокалетию Великого Октября, М.
- Паршиников А. Л. 1959. Изменение зольного состава хвои с возрастом в некоторых типах еловых лесов. Бот. ж., 44, 2.
- Паршиников А. Л. 1962. Круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги. Тр. Инст. леса и древесины АН СССР, 52.
- Пачоский И. К. 1916. Биологическая особенность осота. Тр. Бюро по приклад. бот., год 9-й, 1, (86).
- Персикова З. И. 1958. Морфологические особенности и большой жизненный цикл *Stipa stenophylla* Czern. Уч. зап. Волгоградск. гос. пед. инст. им. А. С. Серяфимовича, 9.
- Персикова З. И. 1959а. Большой жизненный путь щучки *Deschampsia caespitosa* L. Уч. зап. Моск. гор. пед. инст. им. В. П. Потемкина, 50.
- Персикова З. И. 1959б. Формирование и жизненный цикл некоторых дерновинных злаков. Научн. докл. высш. школы, Бюл. науки, 3, М.
- Першина М. Н. и М. Е. Яковлева. 1960. Биологический круговорот зольных веществ в зоне сухих степей СССР. Докл. сов. почвоведов к VII Международному конгрессу в США, М.
- Полынов Б. Б. 1947. Основные идеи учения о генезисе элювиальных почв в современном освещении. Юбил. сб., посвящ. 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, 2, М.—Л.
- Полынов Б. Б. 1948. К вопросу о роли элементов биосфера в эволюции организмов. Почвоведение, 10.
- Попомарева В. В. 1956. Гумус такыров. В сб.: Такыры Юго-Западной Туркмении и пути сельскохозяйственного их освоения, М.
- Попятовская В. М. 1964. Учет обилия и характера размещения растений в сообществах. Полевая геоботаника, 3, М.—Л.
- Пьяченко И. И. 1960. Биологический круговорот азота и зольных веществ в болотных лесах. Почвоведение, 6.
- Пьяченко Н. И. и З. А. Сибирева. 1962. Некоторые результаты стационарного изучения взаимовлияний леса и болота в подзоне средней тайги. Тр. Инст. леса и древесины АН СССР, 53.
- Работников Т. А. 1946. Возрастной состав почвулений некоторых пустынных растений. Успехи соврем. биол., XXII, 3 (6).
- Работников Т. А. 1947. Определение возраста и длительности жизни у многолетних травянистых растений. Усп. соврем. биол., XXIV, 1 (4).
- Работников Т. А. 1950. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах. Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, 6.
- Работников Т. А. 1960. Методы определения возраста и длительности жизни у травянистых растений. Полевая геоботаника, 2, М.—Л.
- Работников Т. А. 1963. К методике проведения опытов на лугах. Вестн. с.-х. науки, 6.
- Работников Т. А. 1966. Изучение травяных биогеоценозов. В кн.: Программа и методика биогеоценологических исследований, гл. XI, М.
- Раменский Л. Г. 1937. Учет и описание растительности. М.
- Раменский Л. Г. 1938. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование замеря. М.
- Рассель Э. 1955. Почвенные условия и рост растений. М.
- Рахтеенко И. Н. 1949. Исследования корневых систем чистых и смешанных культур Бузулукского бора. Леси. хозяйство, 9.
- Рахтеенко И. Н. 1958. О сезонном цикле поглощения и выделения минеральных питательных веществ корнями древесных пород. Физиология растений, 5, 5.
- Ремезов Н. П. 1953. О роли леса в почвообразовании. Почвоведение, 12.
- Ремезов Н. П. 1956а. Роль биологического круговорота элементов в почвообразовании под пологом леса. Почвоведение, 7.
- Ремезов Н. П. 1956б. Еще о роли леса в почвообразовании. Почвоведение, 4.
- Ремезов Н. П. 1959. О методике изучения биологического круговорота элементов в лесу. Почвоведение, 1.
- Ремезов Н. П. 1960а. Биологический круговорот элементов, его роль в почвообразовании и пути его изучения. Докл. сов. почвоведов к VII Международ. конгр. почвоведов в США, М.
- Ремезов Н. П. 1960б. Близкайшие задачи изучения биологического круговорота и его роли в почвообразовании. Вестн. МГУ, 3.
- Ремезов Н. П. 1961. Разложение лесной подстилки и круговорот элементов в дубовом лесу. Почвоведение, 7.
- Ремезов Н. П. 1962. Динамика взаимодействия широколиственного леса с почвой. Пробл. почвоведения, 1.
- Ремезов Н. П., Л. Н. Быкова, К. М. Смирнова. 1959. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.
- Ремезов Н. П., Л. Е. Родин и Н. И. Базилевич. 1963. Методические указания к изучению биологического круговорота зольных веществ и азота наземных растительных сообществ в основных природных зонах умеренного пояса. Бот. ж., 48, 6.
- Ремезов Н. П., К. М. Смирнова и Л. Н. Быкова. 1949. Некоторые итоги изучения роли лесной растительности в почвообразовании. Вестн. МГУ, 6.
- Ривин Т. Л. 1946. Корневая система культурных злаков при различных методах оккультуривания подзолистой почвы. Почвоведение, 12.
- Родин Л. Е. 1958. Динамика растительности пустынь. Автореф. дисс. Л.
- Родин Л. Е. 1960. О динамике органического вещества и биологическом круговороте азота и зольных элементов в некоторых пустынных сообществах. Тр. МОИП, 3.
- Родин Л. Е. 1961. Динамика растительности пустынь. М.—Л.
- Родин Л. Е. 1966. Изучение биогеоценозов пустынь. В кн.: Программа и методика биогеоценологических исследований, гл. XII, М.
- Родин Л. Е. и Н. И. Базилевич. 1955. О круговороте зольных элементов и азота в некоторых пустынных биогеоценозах. Бот. ж., 40, 1.
- Родин Л. Е. и Н. И. Базилевич. 1964. Биологическая продуктивность основных типов растительности северного полушария Старого Света. ДАН СССР, 157, 1.
- Родин Л. Е. и Н. И. Базилевич. 1965. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного Шара. М.—Л.
- Родин Л. Е. и Р. В. Суховерко. 1956. Высшие растения и запасы семян на такырах. В сб.: Такыры Западной Туркмении и пути их сельскохозяйственного освоения, М.
- Розанова И. М. 1960. Круговорот зольных веществ и изменение физико-химических свойств выщелоченных черноземов под хвойными и широколиственными насаждениями. Тр. Лаб. лесоведения АН СССР, 1.
- Ротов В. А. 1955. Жизненные формы, побегообразование и ритм сезонного развития растений восточных Карагум. Автореф. дисс. М.
- Самбуку Ф. В. 1934. Кормовые угодья тундр Ненецкого округа Северного края. Сов. оленеводство, 1.
- Самойлова Е. М. 1961. Динамика разложения опада лиственных пород. Тр. Воронежск. гос. заповедника, 13.
- Свиридов И. К. 1960. Результаты изучения вымывания азота и зольных элементов доядевыми осадками из крон древесных пород. ДАН СССР, 133, 3.
- Сейферт Я. 1958. Использование флуоресцентной микроскопии в микробиологии почв. Почвоведение, 2.
- Семенова-Тянь-Шанская А. М. 1960а. Взаимоотношения между живой зеленой массой и мертвыми растительными остатками в луговых и степных сообществах. Ж. общ. биол., 21, 2.
- Семенова-Тянь-Шанская А. М. 1960б. Динамика накопления и разложение мертвых растительных остатков в лугово-степных и луговых ценозах. Бот. ж., 45, 9.
- Сергеев П. Н. 1953. Лесная таксация. Изд. 6. М.—Л.
- Серебрякова И. Г. 1952. Морфология вегетативных органов высших растений. М.
- Серебрякова Т. Н. 1956. Побегообразование и ритм сезонного развития растений заливных лугов Средней Оки. Уч. зап. Моск. гос. пед. инст. им. Ленина, ХСУИ.
- Сидоров И. С. и В. Н. Куранов. 1960. Роль растительных остатков в почвенно-плодородии. В сб.: Научно-иссл. работы Костромск. с.-х. инст., Кострома.

- Спильковский Л. П. 1957. Солянковая растительность пастбищ урочища Гарауты. Тр. АН ТаджССР, 67, Кормопроизводство, 2.
- Смелов С. П. 1947. Биологические основы луговодства. М.
- Смирнов В. В. 1961а. Облистение и вес надземных частей деревьев в бересковых древостоях подзоны хвойно-широколистенных лесов. Сообщ. Лаб. лесоведения АН СССР, 4.
- Смирнов В. В. 1961б. Изменение сырорастущей органической массы в еловых и елово-лиственных древостоях средней тайги в связи с их возрастом. В сб.: Лесохозяйственные мероприятия в связи с типами леса в северной части Волгоградской области, ч. II.
- Смирнов В. В. 1961в. Изменение охвояния и облистения в еловых и елово-лиственных древостоях средней тайги в связи с их возрастом. Тр. Лаб. лесоведения АН СССР, 3.
- Смирнов В. В. 1962. Изменение сырорастущей органической массы в еловых и елово-лиственных древостоях средней тайги в связи с их возрастом. Тр. Инст. леса и древесины АН СССР, 53.
- Смирнов В. В. 1964. Сезонный рост главнейших древесных пород. М.
- Смирнов В. В. и Е. А. Кузьмина. 1966. Сезонные изменения в хвое ели (*Picea excelsa* Link.) и сосны (*Pinus silvestris* L.). Бюлл. МОИП, отд. биол., 71, 4.
- Сочава В. Б., В. В. Липатова, А. А. Горшкова. 1962. Опыт учета полной продуктивности надземной части травяного покрова. Бот. ж., 47, 4.
- Станков Н. З. 1951. Методы взятия корней в поле. Докл. ВАСХНИЛ, 11.
- Станюкович К. В. 1948. Зависимость возрастного состава популяций пустынных полукустарничков и их возобновления от воздействия различных факторов внешней среды на Памира. Сообщ. Тадж. фил. АН СССР, 9.
- Станюкович К. В. 1949. Ход возобновления и возрастной состав популяций полукустарничков в высокогорных пустынях Восточного Памира. ДАН СССР, 64, 4.
- Станюкович К. В. 1951. Зависимость возрастного состава популяций от абсолютной высоты у горных полукустарничков. ДАН ТаджССР, 1.
- Стешенко А. П. 1952. О биологии и продолжительности жизни ковыля галечного в условиях высокогорий Памира. Изв. АН ТаджССР, отд. естеств. наук, 1.
- Стешенко А. П. 1960. О методах определения возраста и длительности жизни пустынных полукустарничков. Полевая геоботаника, 2, М.—Л.
- (Стешенко А. П.), Steshenko A. P. 1964. About the duration of plants life of the alpine Pamirs. Abstracts of papers. Tenth Intern. Bot. Congr. Edinburgh, August, 1964, p. 481.
- Суворов П. А. 1961. Скорость роста некоторых листоватых и кустистых лишайников. Бюлл. МОИП, отд. биол., 66, 1.
- Сукачев В. Н. 1947. Основы теории биогеоценологии. Юбил. сб., посвящ. 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, 2, М.—Л.
- Сукачев В. Н. и С. В. Зонин. 1961. Методические указания к исследованию типов леса. М.
- Суховерко Р. В., З. Г. Ганецкая и В. М. Понятовская. 1966. К методике определения общей урожайности надземной массы в травянистых сообществах пустынных степей Центрального Казахстана. Бот. ж., 51, 9.
- Тарановская М. Г. 1957. Методы изучения корневых систем. М.
- Тихомиров Б. А. 1957. Динамические явления в растительности пятнистых тундр Арктики. Бот. ж., 42, 11.
- Третьяков Н. В., П. В. Горский, Г. Г. Самойлович. 1952. Справочник таксатора. М.—Л.
- Трулевич Н. В. 1959. Процессы восстановления измененной выпасом карагановой злаково-полынной степи Иссык-Кульской котловины. Изв. АН КиргССР, сер. ест. и техн. науки, 1, 2.
- Трулевич Н. В. 1960. Изучение возрастного состава популяций растений злаково-полынных пастбищ и их продуктивности. Вопр. географии, 48.
- Трулевич Н. В. 1962. Сравнительная характеристика изменения растительного покрова и динамика популяций основных видов сухостепных пастбищ Иссык-Кульской и Нарынской котловин. Бюлл. МОИП, отд. биол., 67, 4.
- Тюлин А. Ф. 1954. К методике изучения обмена минеральных веществ между растением и почвой в лесу. Тр. Инст. леса АН СССР, 23.
- Тюлин А. В. 1945. Таксация леса. М.
- Тюлин А. В., И. М. Науменко, П. В. Воропанов. 1945. Лесная вспомогательная книжка. М.
- Тюлин И. В. 1937. Органическое вещество почв. М.
- Тюлин И. В. 1946. О количественном участии живого вещества в составе органической части почв. Почвоведение, 1.
- Утенкова А. П. 1956. Процесс минерализации листьев дуба и сопутствующих ему пород. Тр. Воронежск. унив., 36.
- Хайрулина Я. Х. 1948. Динамика накопления корневой массы сельскохозяйственными растениями в почве в полевом севообороте. Сб. ц.-иссл. работ АзовоЧерноморск. с.-х. инст., XII.
- Шапин С. С. 1948. Определение количества корней многолетних трав в почве. Сов. агрономия, 10.
- Шалыт М. С. 1960. Методика изучения морфологии и экологии подземной части отдельных растений и растительных сообществ. Полевая геоботаника, 2, М.—Л.
- Шестаков А. Г. 1940. Руководство к практическим занятиям по агрохимии. Ч. II. Анализ растений. М.
- Штиль Э. А. 1956. О методике количественного учета почвенных водорослей. Бот. ж., 41, 9.
- Штиль Э. А. 1957. О развитии почвенных водорослей в дерново-подзолистых почвах. Почвоведение, 3.
- Штиль Э. А. 1961. Об участии почвенных водорослей в питании растений. В сб.: Микроорганизмы и эффективное плодородие почвы. Тр. Инст. микробиологии АН СССР, 11.
- Щербак С. В. 1960. Методика полевого опыта с удобрениями. В сб.: Агрохимические методы исследования почв. М.
- Юнатов А. А. 1964. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей. Полевая геоботаника, 3, М.—Л.
- Яковлева М. Е. 1959. Характеристика корневых систем и зельного состава некоторых растительных ассоциаций Кустанайской области. Докл. ТСХА, 47.
- Aaltonen V. T. 1948. Boden und Wald. Berlin.
- Auerbach S. I., J. S. Olson and H. D. Waller. 1964. Landscape investigation using Caesium-137. Nature, 201, 4921, p. 761—764.
- Beschel R. 1955. Individuum und Alter bei Flechten. Phyton (Austria), 6, 1—2.
- Bliss L. C. 1962. Net primary production on tundra ecosystems. Die Stoffproduktion der Pflanzendecke. Stuttgart.
- Bourdeau Ph. 1961. Seasonal variation in photosynthetic efficiency of conifers. Recent Advances in Botany, 2, Montreal.
- Capstick C. K. 1962. The use of small cylindrical samplers for estimating the weight of forest litter. Progress in soil zoology, London, p. 353—356.
- Diller V. M., H. J. Kersten. 1954. Turbidimetric determination of dry weight of algae. Plant Physiol., 29, 5.
- Domergues Y. 1963. Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicale. Bois et forêts de Tropiques, 87, Janv.—Févr.
- Duvigneaud P. 1962. Ecosystèmes et Biosphère. L'écologie. Science Moderne de Synthèse. 2. Documentation Ministère de l'éducation Nation et de la culture, 23, Bruxelles.
- Ebermayer E. 1876. Die gesamte Lehre von der Waldstreu. Berlin.
- Ehwald E. 1957. Über den Nährstoffkreislauf des Waldes. S. B. Dtsch. Acad. Landw. Wiss., 6 (1), Berlin.
- Ehwald E., F. Grinert, W. Schulz und E. Vetterlein. 1961. Zur Ökologie von Kiefern—Buchen—Mischbeständen. Arch. Forstwesen, 10, 4—6.
- Francé R. H. 1911. Das Edaphon — eine neue Lebensgemeinschaft. Stuttgart.
- Francé R. H. 1912. Neue Untersuchungen auf dem Gebiete der Bodenkunde. Monatschr. f. Landwirtsch.
- Francé R. H. 1921. Das Edaphon. Untersuchungen sur Oekologie der bodenbewohnenden Mikroorganismen. 2 Aufl., Stuttgart.
- Gorham E. 1959. Chlorophyll derivatives in soils. IX Intern. Bot. Congr., 2A, Paris.
- Greenland D. J. and J. M. L. Kowal. 1960. Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana. Plant and Soil, XII, 2.
- Köhnlein J., H. Vetter. 1953. Ernährungsfaule und Wurzelbild. Menge und Nährstoffgehalt der auf dem Acker verbleiben den Reste der wichtigsten Kulturpflanze.
- Kuźniar K. 1953. O przyrodniczych podstawach obliczania ilości drobnoustrojów w glebie. Ekologia Polska, 1, 4.
- Lagercrant C. 1948. Photo-electric counting of individual microscopic plant and animal cells. Nature, 161, 4079.
- Lochhead A. J. and M. O. Burton. 1955. Qualitative studies of soil micro-organisms. XII. Canad. J. Microbiol., 1.
- Lund J. W. G. 1951. A sedimentation technique for counting algae and other organisms. Hydrobiologia, 3, 4.
- Madgwick H. A. J. and J. D. Ovington. 1959. The chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. Forestry, 32, 1.
- Nelson D. J. 1960. Improved chlorophyll extraction method. Science, 132, 3423.

- Nomoto N. 1964. Primary productivity of beech forest in Japan. *Japan. J. of Botany*, 18, 3.
- Nye P. H. 1964. Organic material and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil*, 13, 4.
- Ogawa H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. *Nature and life in Southeast Asia*, IV.
- Olsom F. C. W. 1950. Quantitative estimates of filamentous algae. *Trans. Am. Microsc. Soc.*, 69, 3.
- Ovington J. D. 1959a. The circulation of minerals in plantations of *Pinus sylvestris*. *Ann. Bot.*, 23, 90.
- Ovington J. D. 1959b. Mineral content of plantation of *Pinus sylvestris*. *Ann. Bot.*, 23, 89.
- Ovington J. D. 1962. Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. *Adv. in Ecol. Research*, 1, London—N. Y.
- Ovington J. D., H. A. I. Madgwick. 1959. The uptake of mineral nutrients. *Plant a. Soil*, 10, 4.
- Rennie P. J. 1956. Uptake of nutrients by mature forest growth. *Plant a. Soil*, 7, 1.
- Scott B. R. M. 1955. Amount and chemical composition of the organic matter contributed by overstory and understory vegetation to forest soil. *Bull. Yale Univ. School For.*, 62.
- Stebbins G. L. 1962. International horizons in the life sciences. *Nature*, 196, № 4855, p. 614—617.
- Stoddart L. 1935. How long do roots of grasses live? *Science*, 81.
- Stuckey J. H. 1941. Seasonal growth of grass roots. *Amer. J. Bot.*, 28, 6.
- Tchan I. T. 1952. Study of soil algae. I. Fluorescence microscopy for the study of soil algae. *Proc. Linn. Soc. N. S. W.*, 77.
- Tucker A. 1949. Pigment extraction as a method of quantitative analysis of phytoplankton. *Trans. Amer. Microsc. Soc.*, 68.
- Tukay H. B., Tukay J. B., Witter S. H. 1958. Loss of nutrients by foliar leaching as determined by radioisotopes. *Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 71.
- Waddington C. H. 1962. Mobilising the world's biologist to enlarge our resources. *New Scientist*, 18, p. 248—250.
- Weaver J. E. and E. Zink. 1946a. Annual increase of underground materials in three range grasses. *Ecology*, 27: 115—127.
- Weaver J. E. and E. Zink. 1946b. Length of life of roots of ten species of perennial range and pasture grasses. *Plant Physiol.*, 21.
- Will G. M. 1955. Removal of mineral nutrients from tree crowns by rain. *Nature*, 176, 17.
- Will G. M. 1957. Variation in the mineral content of radiata pine needles with age and position in tree crown. *New Zealand J. Sci. and Technol.*, 38, 17.
- Will G. M. 1959. Nutrient return in litter and rainfall under some exotic conifer stands in New Zealand. *New Zealand, J. Agric. Res.*, 2, 4.
- Wilson J. K. and T. J. Westgate. 1943. Separating soil algae from other organisms by means of the centrifuge. *J. Bact.*, 46, 2.
- Witherspoon, jun. J. P., S. I. Auerbach and J. S. Olson. 1962. Cycling of Caesium-134 in white oak trees on sites contrasting soil type and moisture. *U. S. Atomic Energy Commission, Rep. ORNL-3328*.

L. E. RODIN, N. P. REMESOV AND N. I. BAZILEVICH

Methodical instructions for the study of dynamics and biological turnover in phytocenosis.

#### SUMMARY

The book consists of five chapters.

1. Introduction. The organic dynamics in the terrestrial plant communities and the biological turnover of ash elements and nitrogen is one of the most important problems of interrelations between soil and vegetation.

The main conceptions, terms and measurement units are presented.

2. Methods of studying the dynamics of organic matter and biological nitrogen and ash elements turnover. The methodical modes of organic mass dynamics measurement in forest are discussed, such as: the selection of experimental plots, the stand phytomass measurement (the selection of model trees, the measurement of the mass of leaves, needles, branches and other tree organs, as well as the mass of underwood and regrowth, and roots); the measurement of the phytomass of herb-shrub and moss-lichen storeys, the annual increment measurement (of stand, roots, underwood species and regrowth, of the shrub storey, herbs, fungi, mosses, and lichens); the collection and measurement of litter-fall (leaf-fall measurement, of timber, branch and root fall, the measurement and calculation in stands, shrub and grass-moss cover-fall, as well as of the forest litter).

The standard forms of records are given.

The methods of organic mass dynamics measurement in steppes, in desert and tundra communities, as well as for agricultural plants are presented according to the same plan as in the forests with changes resulting from the peculiarities of these plant community types.

3. Principles of biological turnover balance construction organic matter and biological turnover of ash elements and nitrogen. Methods of balance construction are set forth together with the consideration of plant chemism, intra-annual turnover cycles and processes of realisation of chemical elements from the dead organic remains.

4. Methods of ash-analysis of plants. Both the universally adopted and some new methods of quantitative determination of water, ash, nitrogen and main macroelements (Si, P, Mn, Al, Fe, Ca, Mg, S, K, Na, Cl) are presented.

5. Supplement. The examples of records, tables, graphs, and diagramms are given. Fig. 14, tables 29, references 250 items.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение . . . . .	3
Методика изучения динамики органического вещества и биологического круговорота азота и зольных элементов . . . . .	8
Учет динамики органической массы в лесах . . . . .	9
Выбор пробных площадей . . . . .	9
Учет фитомассы древостоя . . . . .	10
Выбор модельных деревьев (10). Учет массы листьев (хвои), ветвей и других органов деревьев (12). Учет фитомассы подлеска и подроста (14). Учет корней (14). Учет деятельных корней (16).	10
Учет фитомассы травяно-кустарникового и мохово-лишайникового покрова . . . . .	15
Учет прироста . . . . .	18
Учет прироста древостоя (18). Учет прироста корней (19). Учет прироста подлесочных пород и подроста (20). Учет прироста кустарникового яруса (20). Учет прироста трав (20). Учет прироста грибов (20). Учет прироста мхов (21). Учет прироста лишайников (21).	18
Сбор и учет опада . . . . .	21
Учет лиственного опада (21). Учет и вычисление опада стволов, ветвей и корней древостоя (22). Учет опада кустарникового и травяно-мохового покрова (23). Учет лесной подстилки (24).	21
Формы рабочих записей . . . . .	24
Учет динамики органической массы в степях . . . . .	25
Выбор пробной площади . . . . .	25
Учет фитомассы травостоя . . . . .	26
Учет надземной фитомассы (25). Учет корней (29).	26
Учет прироста . . . . .	30
Учет опада . . . . .	32
Сбор опада (33). Расчистка учетных площадок (34). Сбор опада без удаления подстилки (34). Метод вычисления опада (35). Учет опада корней (36).	32
Учет динамики растительной органической массы в сообществах пустынь . . . . .	37
Выбор пробной площади . . . . .	37
Учет фитомассы . . . . .	37
Метод трансекта (38). Учет фитомассы полукустарников и полукустарничков (38). Учет фитомассы трав (40). Учет фитомассы лишайников (40). Учет фитомассы пустынных мхов (41). Учет фитомассы почвенных водорослей (41). Учет корней (44).	37
Учет прироста . . . . .	45
Учет прироста надземной фитомассы полукустарников и полукустарничков (45). Учет прироста корней полукустарников и полукустарничков (46). Учет прироста лишайников и мхов (46). Учет прироста почвенных водорослей (47).	45
Учет опада . . . . .	47
Учет опада полукустарников и полукустарничков (48). Учет опада лишайников, мхов и почвенных водорослей (49). Учет опада корней (49).	47
Учет динамики органической массы в тундровых сообществах . . . . .	50
Выбор пробной площади . . . . .	51
Учет фитомассы . . . . .	51
Учет надземной фитомассы (51). Учет корней (51).	51
Учет прироста . . . . .	52
Учет опада . . . . .	53
Учет опада мхов и лишайников (53). Учет опада корней (53).	53

Учет динамики органической массы в посевах сельскохозяйственных культур . . . . .	54
Выбор пробных площадок . . . . .	54
Учет фитомассы . . . . .	55
Учет массы растений, отчуждаемых с урожаем (55). Учет массы послеуборочных остатков растений (55). Учет корней (55).	55
Учет прироста . . . . .	58
Принципы построения баланса биологического круговорота . . . . .	58
Построение баланса органического вещества . . . . .	58
Построение баланса биологического круговорота зольных элементов и азота . . . . .	59
Содержание зольных элементов и азота в растениях . . . . .	59
Расчет баланса химических элементов . . . . .	62
Внутригодичные циклы биологического круговорота и их изучение . . . . .	64
Освобождение химических элементов из мертвых растительных остатков . . . . .	68
Методика зольного анализа растений . . . . .	69
Приложение . . . . .	102
Литература . . . . .	133
Summary . . . . .	141