



ИНСТИТУТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
МЕТЕОРОЛОГИИ

Л. С. КЕЛЬЧЕВСКАЯ

**МЕТОДЫ
ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ
В АГРОКЛИМАТОЛОГИИ**

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Л. С. КЕЛЬЧЕВСКАЯ

МЕТОДЫ
ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ
В АГРОКЛИМАТОЛОГИИ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1971

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для успешного решения задач, поставленных партией и правительством перед сельским хозяйством, наряду с широким применением достижений агрономической науки, необходимо правильно и полно использовать местные природные ресурсы, в том числе и агроклиматические.

В целях обеспечения работников сельского хозяйства агроклиматическими материалами, органами Гидрометслужбы (НИИ, УГМС и ГМО) составляются агрометеорологические ежегодники, агроклиматические справочники, микроклиматические карты по оценке морозоопасности территории, проводится агроклиматическое районирование территории и отдельных сельскохозяйственных культур и т. д.

Для квалифицированной подготовки этих материалов требуется знание специальных методов агроклиматической обработки данных агрометеорологических, метеорологических и климатических наблюдений. Обработка материалов агрометеорологических и метеорологических наблюдений в агроклиматических исследованиях проводится различными методами: а) специально разработанными для этих целей; б) методами, применяемыми в климатологии, гидрологии и других смежных дисциплинах.

Литературных источников, освещающих методические вопросы по обработке наблюдений для агроклиматических целей, недостаточно, и в большинстве случаев методы агроклиматической обработки опубликованы в разных источниках. Разбросанность публикаций этих методов создает большие трудности при их изучении.

В настоящей книге автор стремился систематизировать существующие методы обработки и анализа

материалов наблюдений применительно к агроклиматическим исследованиям. Написана она на основе ранее подготовленных автором и изданных фотоаппаратным способом методических пособий по агроклиматической обработке данных наблюдений под редакцией канд. с.-х. наук В. В. Синельникова, докт. геогр. наук Е. А. Цубербилгер и канд. геогр. наук Б. П. Пономарева.

Полная методика фенологического картографирования аналитическим способом публикуется впервые.

В обработке материала принимали участие З. И. Михайлова, В. И. Цыrkова, И. Н. Мучкина, В. П. Сторожилова, С. В. Охотникова, Т. И. Исаева, В. В. Руднева, Л. И. Полева, Л. Г. Мамаева и З. В. Бушуева.

Редактирование настоящего издания осуществлено канд. геогр. наук В. А. Сенниковым.

Замечания и пожелания по содержанию книги просьба высылать по адресу: г. Обнинск, ул. Жюлио-Кюри, 18, Институт экспериментальной метеорологии.

Часть первая

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИИ

Основные агроклиматические ресурсы той или иной территории определяются теплообеспеченностью, влагообеспеченностью и условиями перезимовки. Агроклиматические показатели тепло- и влагообеспеченности и перезимовки разрабатываются на основе метеорологических и агрометеорологических наблюдений. Обработка этих данных заключается в получении следующих характеристик:

- а) средних многолетних,
- б) вероятностных (вероятность и обеспеченность).

Средние многолетние характеристики позволяют в обобщенной и краткой форме представить агроклиматические различия территории, обусловленные ее географическими особенностями (широтой, высотой, рельефом, удаленностью морей и наличием внутренних водоемов). Кроме того, средние многолетние величины позволяют установить основные особенности сезонного режима, годового и суточного хода агроклиматических показателей.

Средняя многолетняя величина получается простым суммированием агроклиматических показателей и делением этой суммы на число используемых для расчета случаев или лет. Простота получения средней многолетней является и ее недостатком — характеристика оказывается сильно сглаженной. Для расшифровки средней используются вероятностными характеристиками.

Ниже приводятся отдельные положения и примеры из работы И. А. Гольцберг [23] по составлению таблиц вероятностей различных метеорологических элементов.

Средняя многолетняя климатологическая величина очень редко наблюдается в отдельный конкретный год, она может получиться в результате того, что одна половина всех лет имеет значения меньше средней многолетней, а вторая — больше. Как амплитуда колебаний крайних значений, так и повторяемость в отдельные годы значений элементов, входящих в среднюю величину, могут довольно значительно различаться в разных климатических условиях. Например, при одной и той же средней дате начала безморозного периода 1/IV наиболее поздняя дата наступления замор-

розка в одинаковых местоположениях (на открытом ровном месте) в западной и средней частях Европейской территории СССР приходится на 2/IV, в Западной Сибири — на 25/V, а на Дальнем Востоке — на 12/V. Дата возможного наступления позднего весеннего заморозка один раз в 10 лет падает соответственно на 19, 15 и 7/V. Эти изменения в соотношении средней и крайних величин определяются различной устойчивостью климатических условий, особенностями годового хода температуры, различного во всех указанных частях СССР. Поэтому для решения ряда практических вопросов в агроклиматических исследованиях необходима расшифровка средней климатологической величины в виде повторяемости, вероятности и обеспеченности (суммарной вероятности) явления, представляющих изменчивость изучаемого метеорологического элемента во времени и пространстве.

Повторяемость явления рассчитывается за длинный ряд лет и выражается числом случаев или количеством лет с тем или иным явлением. Под вероятностью явления понимается статистическая повторяемость явлений за длинный ряд лет, выраженная в процентах от всего числа случаев. Таблица вероятностей показывает, как часто при определенном значении средней многолетней величины наблюдаются отдельные значения элемента.

Суммарная вероятность представляет собой обеспеченность явления. Обеспеченность применяется преимущественно в агроклиматических исследованиях и характеризует наступление какого-либо явления суммарно выше или ниже заданного уровня, раньше или позднее указанного срока. Например, в Ленинграде никогда не бывает лет с суммой температур выше 10° , равной 1200° , — эта сумма температур является наиболее низкой из наблюдаемых. Она обеспечена ежегодно (на 100%), так как все фактически наблюдаемые суммы температур выше. Сумма температур 1800° обеспечена 6 раз в 10 лет, потому что суммы температур выше 1800° имеют здесь вероятность 60%.

Используя таблицы вероятностей, можно, например, оценить результаты опытов, связанных с условиями породы определенного года. Так, при оценке возможности продвижения на север какой-либо новой культуры, давшей хороший или плохой урожай в течение 1—2 лет, следует определить, насколько основные показатели этого года (термические и увлажненные) отклоняются от многолетнего среднего (по длительности безморозного периода, сумме температур, количеству осадков и т. п.) и затем по таблицам вероятности этих явлений рассчитать, насколько часто можно ожидать аналогичные, лучшие или худшие условия вызревания. Хороший урожай теплолюбивой культуры, полученный в очень теплый год, вероятности повторения которого не превышает 10—20%, еще не дает основания считать, что культура успешно пойдет в новом районе. Наоборот, если такой же результат получен в более холодное лето, когда вероятность аналогичных или лучших условий равна 60—70%, можно рассчитывать на успешное продвижение этой культуры в изучаемом районе.

Вероятности наступления различных дат средних суточных температур, времени наступления заморозков, количества осадков и т. п. нужны при определении наиболее рациональных сроков начала и конца полевых работ, наиболее вероятного начала вегетационного периода и т. д.

Вероятности любого климатологического элемента определяются по длинному ряду наблюдений (более 30—35 лет) и поэтому могут быть получены только для ограниченного числа метеорологических станций.

Районы, однородные в климатическом отношении, обычно имеют кривые вероятностей и обеспеченностей одного определенного типа. Устойчивость таких типов в пространстве значительна. Это позволяет использовать для большей территории вероятности, полученные по немногим станциям, а также судить о вероятности явления и для станций, не имеющих достаточно длинных рядов наблюдений, но находящихся в одном климатическом районе с длинными рядами станциями. Так, по датам заморозков на территории СССР выделяется только 7—8 типов кривых вероятностей, по суммам температур — 4—5 типов, по датам перехода температуры через определенные уровни — также небольшое число типов. Такая устойчивость в пространстве типов кривых вероятностей, определяемая общими климатическими условиями района, в большинстве случаев позволяет ограничиваться 1—2 типами кривых для отдельного элемента в пределах исследуемой территории, что значительно облегчает работу по составлению таблиц вероятностей.

Изучение распределения метеорологических элементов по градициям показывает, что имеется несколько типов распределения, характерных для отдельных элементов. Часть элементов дает симметричные кривые, некоторые элементы характеризуются асимметричными кривыми вероятностей. Достаточно симметричные кривые, близкие к нормальной (гауссовской) кривой частот, дает ряд элементов, характеризующихся отсутствием предела возможных значений. Сюда относятся такие климатические характеристики, как даты перехода температуры воздуха через различные пределы, даты наступления фаз развития сельскохозяйственных культур, даты наступления заморозков, суммы температур.

К асимметричным кривым часто относятся кривые вероятности, которые ограничены с одной стороны каким-либо пределом — в большинстве случаев нулем (осадки, число дней с определенными явлениями и т. п.). Наконец, в особую группу выделяются U-образные кривые распределения частот, например облачности, для которых средняя величина не является характерной.

Вид кривой вероятности во всех случаях определяется в первую очередь общими климатическими условиями района. Для симметричных кривых при изменении средней наблюдается только некоторая передвижка кривой по соответствующей шкале без изменения вида ее и существенного изменения соотношений в повторяемости отдельных градаций. В случае с пределом вид кривой вероятности резко изменяется при постепенном возрастании средней,

и на каком-то отрезке, достаточно удаленном от нуля, она также может принять вид достаточно симметричной кривой.

Для подсчета вероятности и обеспечения тех или иных элементов пользуются различными методами. Основные из них будут рассмотрены в соответствующих разделах на конкретных примерах.

Раздел I. РАСЧЕТЫ ПО ОЦЕНКЕ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Телловой режим воздуха и почвы является одним из важнейших факторов жизни сельскохозяйственных культур. При агроклиматической характеристике теплового состояния среды чаще всего пользуются условным показателем, выраженным градусами температуры (градусы Цельсия). Измерение температуры и обработка результатов наблюдений довольно просты, а телловое состояние среды, характеризуемое температурой, сравнительно точно отражает фактический баланс тепла [49].

При оценке термических ресурсов территории необходимо исходить из требований культурных растений к теплу, т. е. должна быть известна климатическая характеристика сельскохозяйственных культур. За климатологический признак вегетационного периода принимаются температуры начала и конца вегетации культурных растений [67]. Температура начала роста меняется в очень широких пределах для разных культурных растений в зависимости от видов, форм и сортов — от 0 до 20°. Такие растения, как рожь, вика и др., начинают рост, вегетацию при температурах, близких к 0°. Целый ряд культур (ранние яровые зерновые, горох, подсолнечник, поздние яровые, кукуруза, рис, хлопчатник и др.) требует более высоких температур роста — порядка 5, 10 и 15°. Ряд тропических форм начинает вегетировать при температурах выше 18—19° (финиковая пальма).

При достаточной влагообеспеченности температуры начала роста и конца вегетации очень близко совпадают между собой. Если обеспеченность влагой недостаточна, то окончание вегетации может быть при самых различных температурах.

Должна быть известна температура цветения и созревания растений. Для ряда полевых культур минимальной температурой для прохождения процессов цветения и созревания считается температура порядка 14—15°. Для винограда, например, минимальной температурой созревания является 16°. В ряде тропических и высочайших районов, где температура в течение года меняется очень мало, виноград может вегетировать круглый год при температуре ниже 16°, но созревание ягод не наступит. Эти требования растений к теплу в период цветения учитываются оценкой напряжения тепла, т. е. температурой самого теплого месяца.

Требования культур к теплу выражаются суммой температур для различных межфазных периодов и в целом за весь вегетаци-

онный период развития растений. Сумма активных температур измеряется в очень широких пределах в зависимости от вида и сорта растений. В пределах одного и того же вида, например кукурузы, имеются сорта, требующие суммы температур порядка 2500°, и существуют сорта, которые не созревают при температурах порядка 1000—5000° в течение вегетационного периода.

Использование имеющихся термических ресурсов в значительной мере может быть лимитировано весенними и осенними заморозками. Заморозки оказывают колоссальное влияние на растениеводство, и учет их при агроклиматической оценке условий территории совершенно необходим. Причем с сельскохозяйственной точки зрения заморозками могут считаться температуры ниже различных уровней, а не только ниже нуля. Различные растения по-разному реагируют на заморозки. Существуют классификации культурных растений по устойчивости к заморозкам [49].

Таким образом, для оценки термических ресурсов вегетационного периода требуется обработка климатологических материалов по следующим основным показателям:

а) даты начала и конца вегетационного периода, т. е. даты перехода температуры воздуха через тот или иной предел;
б) продолжительность периода с температурами выше определенных пределов;

в) средняя сумма температур за вегетационный период;
г) обеспеченность вегетационного периода теплом;

д) напряженность тепла в период вегетации;

е) весенние и осенние заморозки различной интенсивности и различной вероятности, длительность безморозного периода.

Методы агроклиматической обработки этих показателей и картографирования приводятся ниже.

Для получения большинства термических характеристик широко используются средние суточные, пятидневные, декадные и средние месячные температуры воздуха, а также максимальные и минимальные температуры, которые снимаются с графика годового хода температур. Метод построения графика предложен А. А. Шепелевским и описан в работах [3, 59].

1.1. Построение графика годового хода средней месячной температуры воздуха

График годового хода средней месячной температуры строится на миллиметровой бумаге. По оси абсцисс откладываются дни месяца в масштабе 1 день — 1 мм (соответственно числу дней в месяце, при этом в феврале берется 28 дней). По оси ординат откладывается температура воздуха в масштабе 1° — 1 см. Для того чтобы проследить изменение температуры от декабря к январю, график годового года строят за 14 месяцев, начиная с декабря и кончая январем (рис. 1). Температура каждого месяца изображается в виде прямоугольника, у которого основание — число дней в соответствующем месяце, высота — многолетняя средняя темпе-

ратура за данный месяц. Через эти прямоугольники проводится плавная кривая так, чтобы площадь отрезка *a*, отсекаемая с одной стороны прямоугольника, была равна площади отрезка *б*, который она прирезает с другой стороны. Этот график дает возможность получить многолетнюю среднюю температуру любого дня года. Для этого достаточно из абсциссы, соответствующей данному дню, восстановить перпендикуляр до пересечения его с кривой годового хода и отсчитать соответствующую ординату.

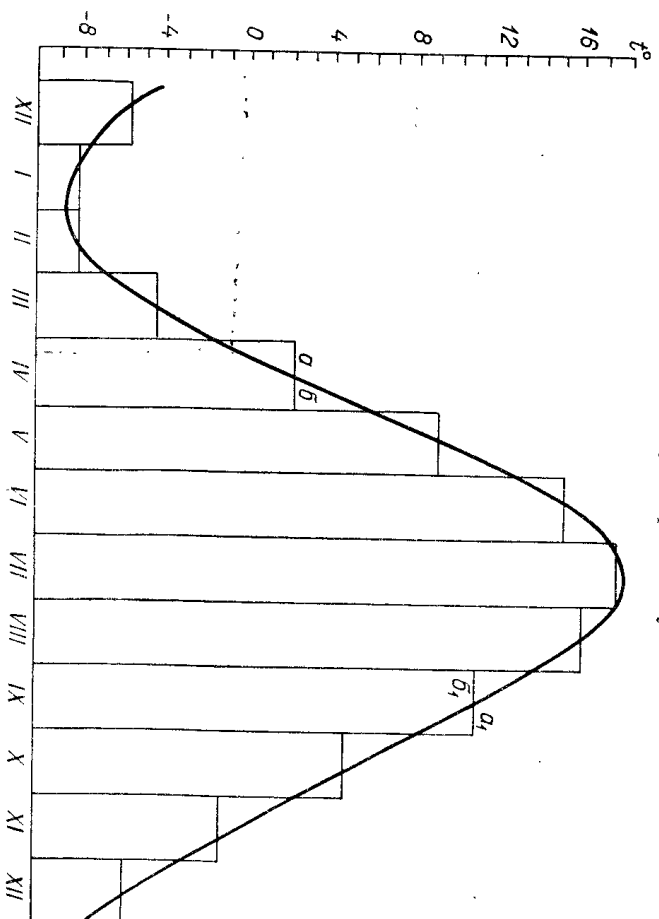


Рис. 1. Годовой ход средней месячной температуры воздуха.

Для определения средней декадной температуры следует отсчитать указанным выше способом температуру среднего дня декады (5, 15, 25 числа).

График годового хода температуры может служить и для определения даты перехода температуры через определенный предел. В этом случае по заданной ординате (предел температуры) находят соответствующую абсциссу (дату).

1.2. Графический метод обработки экстремальных температур

Явным недостатком обычных таблиц абсолютных минимумов и максимумов, помещаемых в Климатологическом справочнике, следует признать содержание в них только месячных данных. К тому же нигде не сказано, что весенние максимумы падают на конец месяца, минимумы — на начало, а для осени отмечается обратное соотношение; не приведено средних дат наступления экстремаль-

ных температур по месяцам. Между тем в переходные сезоны идет очень быстрый рост экстремальных температур (для минимума отмечен 1° и более за день в многолетнем среднем). А так как переходные сезоны являются особо важными в сельскохозяйственном отношении, возникает необходимость перехода к декадным и пентадным данным.

Непосредственная выборка декадных и пентадных экстремумов из наблюдений даже по очень длинным рядам не достигает цели, так как материалы за месяц дробятся на 3 или 6 частей, и устойчивых выводов не получается. Поэтому в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова был предложен графический (интерполяционный) способ определения декадных и пентадных температур [63].

Интерполяционный график для минимумов строится следующим образом. По оси абсцисс откладываются все даты года от 1 января до 31 декабря (причем январь или декабрь удобно повторить). По оси ординат наносятся значения минимумов за каждый день (только те, которые сильно отклоняются от среднего значения — см. ниже). Удобный масштаб: 1 день — 2 мм, 1° — 1 см (такой же, как и для построения гистограмм). Так как график занимает очень большую площадь, он дается здесь в сокращенном и сильно уменьшенном виде (рис. 2).

Чтобы наметить с самого начала ориентировочную интерполяционную кривую, на график наносятся прежде всего 12 значений обычного абсолютного минимума за многолетний период по месяцам. Они берутся из обычных выписок по годам, где указаны даты. Эти 12 данных соединяются плавной кривой. Таким же образом строится кривая по наивысшим наблюдаемым минимумам. Для этого делают специальную выборку за каждый год с указанием дат последних. Кривая служит только для определения амплитуды возможных минимумов. Затем просматриваются таблицы ТМ-1 за каждый день всех лет и на график наносятся те значения минимума, которые были достаточно низкими, т. е. лежали вблизи упомянутой ориентировочной кривой. Пределы этой близости можно взять различными. Удобным представляется предел $1/10$ возможной амплитуды, который следует обозначать специальной кривой. Поскольку амплитуда учитывается пока ориентировочно, наносятся также точки, лежащие и немного выше кривой для $1/10$ амплитуды, так как она может сдвигаться при окончательном уточнении и оформлении графика.

Если кривая наивысших минимумов не строится и $1/10$ (или другая часть) амплитуды не определена, можно взять предел около 6—7° выше ориентировочной кривой зимой и до 3—4° летом. Следует избегать наносить более высокие точки: так как их становится очень много, наноска отнимает большое количество времени, а для проведения кривой они не имеют значения. При нанесении каждой точки ставится год, к которому она относится.

Когда таким образом использован весь многолетний период, проводится плавная кривая, огибающая снизу всю совокупность

точек (кривая *a* на рис. 2). Она и будет давать наинизшие возможные минимумы, притом не только по декадам и пентадам, но и за каждый день. Полученные данные названы предельными наинизшими минимумами. Они снимаются с кривой 1 и заносятся в специальные таблицы. Аналогично строится и кривая предельных наивысших минимумов (они характеризуют самые теплые ночи на данной станции; кривая *z* на рис. 2). Однако поскольку наивысшие минимумы не являются целью исследования, а служат лишь для определения амплитуды, то ежедневные данные здесь не используются. Кривая строится по 12 наивысшим месячным минимумам

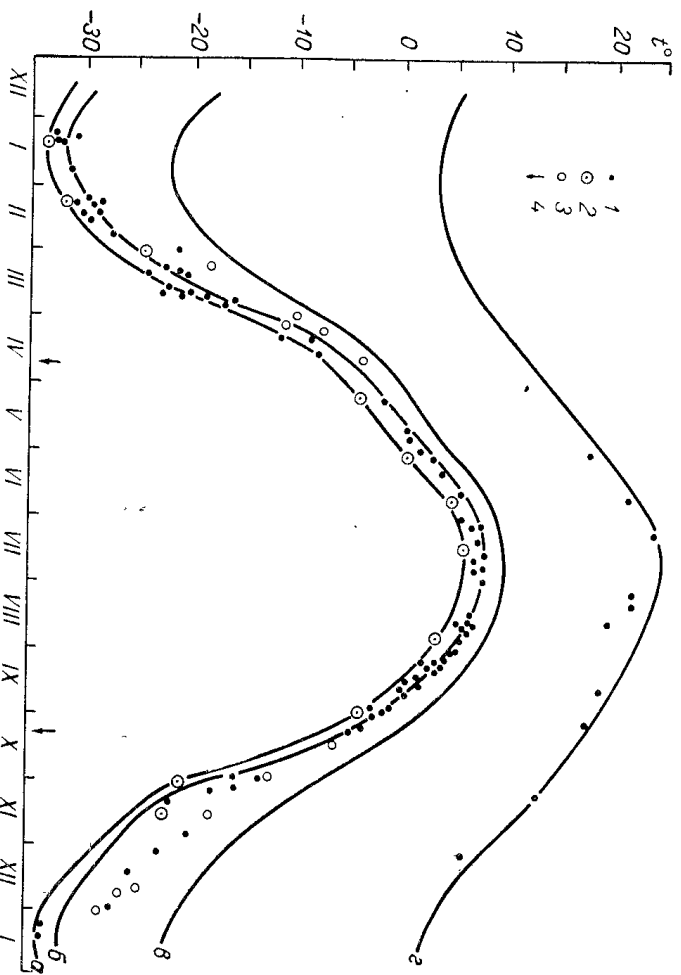


Рис. 2. Интерполяционные кривые абсолютных минимальных температур.

a — кривая предельных наинизших минимумов, *б* — кривая минимумов на 2° выше предельных, *в* — кривая среднего абсолютного минимума, *г* — кривая предельных наивысших минимумов; *1* — значения ежедневных минимальных температур, *2* — абсолютный минимум по месяцам за многолетний период, выбранный из непосредственных наблюдений, *3* — значения ежедневных минимумов в случае отсутствия снежного покрова, *4* — даты появления и схода снежного покрова.

и уточняется затем по самым высоким минимумам за отдельные дни.

Основная сложность при проведении огибающей заключается в том, что неясно, насколько сильно нужно ее сглаживать: должна ли она быть совершенно плавной или допустимы значительные неровности в ее ходе. Вопрос этот связан с осуществлением «особенностей» в календарном ходе температуры. На основании литературы и проработанного материала выяснено, что особенности вполне реальны, и, следовательно, кривая может иметь прогибы вверх и вниз, но вполне определенно установлен пока только

позврат холодов в мае — начале июня, характерный для очень многих районов Советского Союза. В исключительных случаях сильно искажающие точки приходится оставлять за пределами кривой (см. пример на рис. 2). Имеются некоторые возможности уточнения кривой на основании учета снежного покрова. При его отсутствии минимумы оказываются систематически выше наблюдённых предельных значений на определённую величину. Следовательно, в период начала и конца снежного покрова можно на эту величину опустить ниже интерполяционную кривую предельных минимумов по сравнению с наблюдёнными точками.

Подходя к расчёту вероятности, следует прежде всего задать градации значений минимума. Эти градации могут быть одними и теми же для всех сезонов, например 1° и 2° выше предельной кривой, или же их можно установить в соответствии с размахом возможных колебаний, для чего предложена $1/10$ амплитуды. Можно, наконец, определять вероятность значений ниже среднего из абсолютных минимумов и т. д.

Расчет вероятности по кривой делается очень просто. Выше предельной кривой проводится другая на расстоянии $1,2^{\circ}$ или $1/10$ амплитуды в зависимости от выбранной градации, либо кривая среднего абсолютного минимума. Затем подсчитывается число точек, попавших между основной (нижней кривой) и кривой для выбранной градации, отдельно для каждого месяца. Делением числа точек на число лет мы получаем среднее число предельных минимумов в данном месяце за год. Если все числа меньше единицы, их удобнее перевести в проценты. Не следует забывать, что абсолютные величины этих минимумов неодинаковы в начале и конце месяца. Возможно также, что кривая интерполирована за весь месяц, а поэтому в пределах, например 1° , не оказалось ни одной точки. Такой случай обозначается тире с соответствующим объяснением в примечании.

Суточная амплитуда температур воздуха вычисляется как разность между средней максимальной температурой воздуха (или средней за 13 часов) и средним минимумом температуры воздуха.

1.3. Определение дат перехода температуры воздуха через различные пределы

Даты перехода температуры воздуха через различные пределы характеризуют периоды подъема и спада температур, а также начало и конец вегетационного периода сельскохозяйственных культур, которые определяются нижним пределом температур для их развития. Например, для ранних яровых зерновых культур, гороха, подсолнечника нижним пределом является 5° , для поздних культур, кукурузы и других $+10^{\circ}$, для теплолюбивых овощей, риса и других $+15^{\circ}$.

Существует несколько методов определения перехода температуры через различные пределы:

а) по ежедневной средней суточной температуре для конкретного года [81];

б) по средней декадной температуре графическим способом или с помощью интерполяционной формулы (в многолетнем разрезе);

в) по средней месячной температуре воздуха также графическим способом или по интерполяционной формуле (в среднем многолетнем).

Даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5, 10 и 15° весной и осенью по ежедневной средней суточной температуре за каждый конкретный год определяются по данным ТМ-1.

При определении дат устойчивого перехода средних суточных температур через 0, 5, 10 и 15° весной и осенью очень часто наблюдается, что периоды с температурой выше данного предела сменяются периодами с температурой ниже данного предела, что связано с чередованием весной и осенью периодов потепления и похолодания.

Даты устойчивого перехода температур через тот или иной предел определяются путем сопоставления положительных и отрицательных отклонений сумм суточных температур от того или иного предела. Положительным отклонением считается тогда, когда средняя суточная температура превышает предел. Если температура ниже данного предела — отклонение отрицательное. Так, например, температура 3,5° по отношению к пределу 0° имеет положительное отклонение, равное +3,5°, температура 8,7° по отношению к пределу 10° имеет отрицательное отклонение, равное —1,3°.

За дату устойчивого перехода температуры через 0, 5, 10 и 15° весной принимается первый день периода, сумма положительных отклонений которого превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с отрицательными отклонениями.

За дату устойчивого перехода через 15, 10, 5 и 0° осенью принимается первый день того периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с такими отклонениями. С этой целью путем рассмотрения средних суточных температур воздуха по таблицам ТМ-1 за месяцы с середины зимы до конца лета (при определении дат устойчивого перехода температуры весной) и за месяцы с середины лета до начала зимы (для определения перехода температур осенью) находят все периоды с положительными и отрицательными отклонениями и вычисляют по каждому периоду сумму соответственно положительных и отрицательных отклонений. Полученные результаты записывают в рабочую таблицу (табл. 1).

Затем полученные суммы положительных и отрицательных отклонений сопоставляют и, руководствуясь указанными выше правилами, находят периоды и дни, которые можно принять за начало (весной) или конец (осенью) устойчивого перехода температуры через тот или иной предел (0, 5, 10, 15°).

Рассмотрим пример определения даты устойчивого перехода температуры воздуха через 10° весной.

По данным, выбранным из ТМ-1, составляем табл. 1. Как показывается анализ данных таблицы, дата устойчивого перехода температуры через 10° весной будет 14/V, так как сумма положительных отклонений этого периода (8,6°) превышает любую из сумм отрицательных отклонений любого из последующих периодов (1,1; 3,7; 3,4°). После 12/VI до самого конца лета (до начала осени) периодов с отрицательными отклонениями не было.

Таблица 1

Рабочая таблица для определения даты перехода да температуры воздуха через 10° весной

Периоды перехода температуры через 10° весной		Суммы отклонений		Периоды перехода температуры через 10° весной		Суммы отклонений	
начало	конец	положительных	отрицательных	начало	конец	положительных	отрицательных
17 IV	30 IV	5,3	—	18 V	31 V	61,1	—
1 V	2 V	—	3,8	1 VI	2 VI	—	3,7
3 V	5 V	8,3	—	3 VI	11 VI	37,0	—
6 V	13 V	—	26,7	12 VI	15 VI	—	3,4
14 V	16 V	8,6	—	16 VI	—	—	—
17 V	17 V	—	1,1	—	—	—	—

Аналогичным способом производятся вычисления дат устойчивого перехода через различные пределы (0, 5, 10, 15° весной и 15, 10, 5, 0° осенью). Однако для осени за дату устойчивого перехода через тот или иной предел, как указывалось выше, принимается первый день периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с такими отклонениями.

При расчете даты перехода температуры воздуха через определенные пределы весной по средней декадной или средней месячной температуре воздуха (графическим путем) просматриваются средние декадные (месячные) температуры и из них выбираются две декады (месяца), температура одной из которых меньше искомого предела, а второй — больше.

По температурам двух декад (месяцев) строится график хода средней декадной (месячной) температуры воздуха. На оси X откладываются декады (месяцы), а на оси Y — средняя температура воздуха за декаду (месяц). В поле графика проставляются точки соответственно к температуре той или иной декады (месяца). Точки относятся к середине декады (месяца) и соединяются линией (рис. 3).

Для нахождения даты перехода температуры через искомый предел с кривой по оси Y находится температура и из этой точки восстанавливается перпендикуляр на ось X, на пересечении с осью находится искомая дата.

В примере на рис. 3 средняя температура за первую декаду мая составляет 3,5°, а за вторую — 9,4°. Необходимо определить дату

перехода температуры воздуха через 5°. Эта дата приходится на 8/V.

Определение даты перехода температуры воздуха через различные пределы может производиться также с помощью интерполяционной формулы по средним месячным и средним декадным данным. Для этого находят две декады (месяца), у которых температура ниже и выше искомого предела. Для расчета по декадным данным используется одна формула:

$$S = \frac{k-a}{b-a} d + 5, \tag{1}$$

для расчета по месячным данным —
другая:

$$S = \frac{k-a}{b-a} d + 15, \tag{2}$$

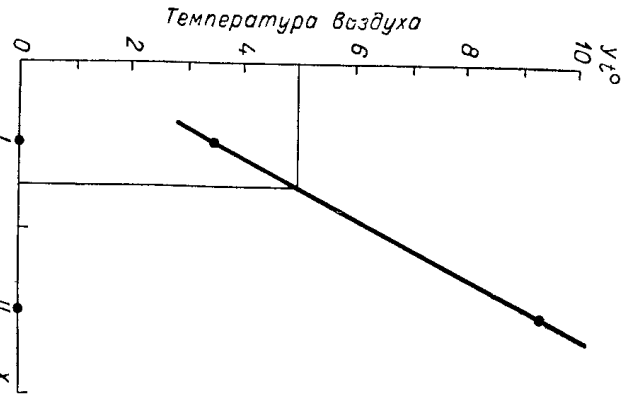


Рис. 3. Ход средней декадной температуры воздуха.

1. Средняя температура за вторую декаду марта составляет 9,2°, а за третью — 11,5°. Необходимо определить дату перехода температуры воздуха через 10°. По формуле (1)

$$S = \frac{10-9,2}{11,5-9,2} \cdot 10 + 5 = 0,4 \cdot 10 + 5 = 9 \text{ дней.}$$

Так как счет ведется от первого дня второй декады марта, т. е. от 10 марта, то дата перехода температуры воздуха через 10° приходится на 19/III (10+9).

2. Средняя температура за март составляет 9,2°, а за апрель 15,8°. Определяется переход температуры воздуха через 10° по формуле (2)

$$S = \frac{10-9,2}{15,8-9,2} \cdot 31 + 15 = 0,12 \cdot 31 + 15 = 19 \text{ дней.}$$

В данном случае счет ведется от первого дня марта, следовательно, дата перехода температуры воздуха через 10° приходится на 19/III.

1.4. Построение интегральных кривых распределения дат перехода температуры воздуха через различные пределы

Изменчивость по годам средних многолетних дат перехода температуры воздуха через различные пределы может быть представлена в виде их обеспеченности. Ниже рассматриваются методы ее расчета по А. Н. Лебедеву [48].

При построении интегральных кривых распределения используются материалы наблюдений за отдельные годы. В качестве примера рассмотрим интегральную кривую распределения дат устойчивого перехода средних суточных температур воздуха весной через 5° на станции Пермь. Для этой цели значения дат устойчивого перехода средних суточных температур воздуха через 5° весной за отдельные годы необходимо располагать в строгой последовательности от более ранней даты перехода температуры к более поздней. В тех случаях, когда переход температуры через рассматриваемый предел в разные годы приходится на одну и ту же дату, сами даты лучше записывать в хронологическом порядке, хотя принципиально для расчета интегральной кривой распределения это не имеет никакого значения.

Величина процентной обеспеченности P_n для всех обработанных характеристик климата вычисляется по формуле

$$P_n = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \tag{3}$$

где P_n — процентная обеспеченность (суммированная вероятность), m — порядковый номер члена ряда, n — число наблюдений в ряду.

Таблица 2
Переход средней суточной температуры воздуха через 5° в период подъема ранее указанных дат различной обеспеченности

№ п/п	Год	Дата	P %	№ п/п	Год	Дата	P %
1	1920	10 IV	1,45	60	1926	3 V	87,0
2	1950	11 IV	2,90	61	1902	4 V	88,4
3	1888	11 IV	4,4	62	1940	5 V	89,9
4	1921	12 IV	5,8	63	1884	8 V	91,3
5	1917	14 IV	7,3	64	1895	8 V	92,8
6	1906	14 IV	8,7	65	1945	8 V	94,2
7	1903	14 IV	10,2	66	1890	10 V	95,7
8	1889	15 IV	11,6	67	1941	10 V	97,1
9	1901	15 IV	13,0	68	1918	18 V	98,6
10	1943	16 IV	14,5				
...							

Многолетний средняя дата 26/IV

Переход средней суточной температуры воздуха
через 5° ранее указанных дат различной обеспеченности

Стан- ция	Обеспеченность, %																
	Средняя дата																
	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95				
Пермь	26 IV	12 IV	15 IV	19 IV	21 IV	22 IV	24 IV	26 IV	28 IV	30 IV	1 V	2 V	5 V	9 V			

Такая подробная детализация процентных обеспеченностей не всегда может быть целесообразна. В некоторых случаях могут быть использованы и другие градации обеспеченностей: 5, 10, 25, 50, 75, 90 и 95%. Любые другие градации обеспеченностей, диктуемые практической необходимостью, нетрудно получить путем линейной интерполяции.

1.5. Построение расчетных графиков-номограмм [48]

Для построения расчетных графиков-номограмм необходимо располагать материалами, снятыми с интегральных кривых распределения, построенных для станций с различными средними датами перехода температуры через различный предел от наиболее ранней до наиболее поздней. Принцип построения расчетных графиков сводится к следующему. На оси абсцисс откладываются возможные даты перехода температуры, а по оси ординат — многолетние средние даты.

Сначала для всех станций соответственно их средним на график наносятся значения обеспеченностей 5%, затем 10, 20, 30% и т. д. При этом каждое значение обеспеченности имеет свой условный знак. На пересечении нормы с возможными значениями метеорологических элементов различной обеспеченности и ставятся условные знаки, по которым в дальнейшем проводятся линии, соединяющие одинаковые значения. Линии различных значений обеспеченности проведены на графике через 10% и только на краях, где изменчивость элемента незначительна, — через 5%. Один из таких расчетных графиков приводится на рис. 5.

На этом графике представлен переход средней суточной температуры воздуха через 0° ранее определенных дат различной обеспеченности. Даты с очень ранними и поздними переходами температуры через 0° лежат за пределами крайних наклонных линий; исключительно ранние — левее линии обеспеченности 5%, а исключительно поздние — правее линии обеспеченности 95%.

С помощью расчетных графиков-номограмм можно просто и быстро получить необходимые характеристики элемента различной обеспеченности. Для этого достаточно расположить лишь многотетними средними величинами метеорологических элементов, а такие данные в настоящее время имеются по всей основной сети

В качестве иллюстрации пример расчета приведен в табл. 2. На основании данных, помещенных в табл. 2, строится интегральная кривая распределения или, как ее еще иначе называют, кривая обеспеченности. Интегральная кривая распределения строится следующим образом: по оси абсцисс откладываются значения процентных обеспеченностей P_n , а по оси ординат — даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха весной через 5°. По имеющимся на графике точкам интерполяцией проводится плавная линия, соединяющая вероятности дат перехода различной обеспеченности (рис. 4).

Интегральная кривая распределения, построенная по материалам наблюдений станции Пермь, наглядно показывает возможные колебания в датах устойчивого перехода средних суточных температур воздуха через 5° весной за период с 1883 по 1950 г. Нетрудно видеть, что самая ранняя дата устойчивого перехода средней суточной температуры весной через 5° наблюдается в Перми 10 апреля, а самая поздняя приходится на 18 мая.

Против некоторых дат в одном ряду имеется несколько точек. Это указывает на то, что на данной станции в исследуемый период устойчивый переход средних суточных температур воздуха весной через 5° приходится на одну и ту же дату.

В дальнейшем с интегральной кривой распределения снимаются любые значения обеспеченностей. В приведенном примере даты устойчивого перехода температур через заданный предел снимались с обеспеченностью в 5, 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90 и 95%.

Снятые с интегральной кривой распределения значения дат устойчивого перехода средних суточных температур воздуха в весенний период через 5° помещаются в специальную таблицу (табл. 3). Эти данные имеют вполне определенное практическое значение. С их помощью легко определяются не только экстремальные значения дат, но и другие возможные колебания в датах перехода и их процентная обеспеченность.

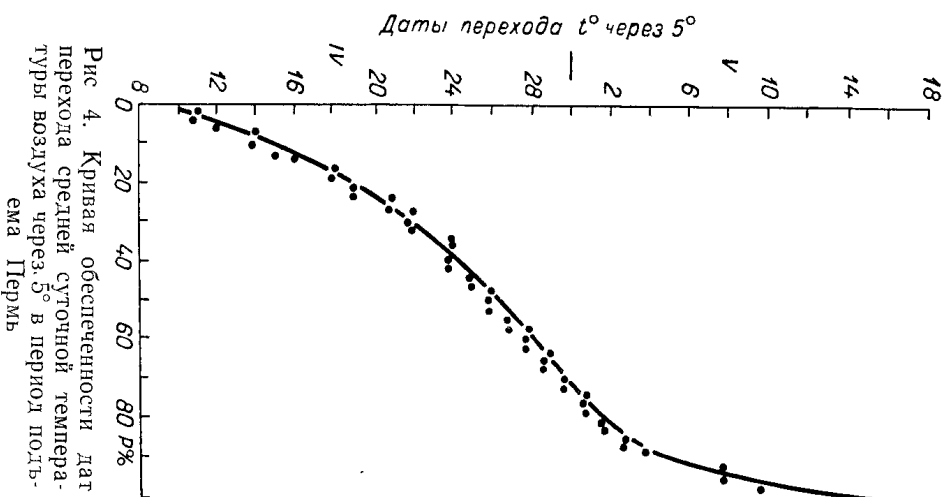


Рис. 4. Кривая обеспеченности дат перехода средней суточной температуры воздуха через 5° в период подыема Пермь

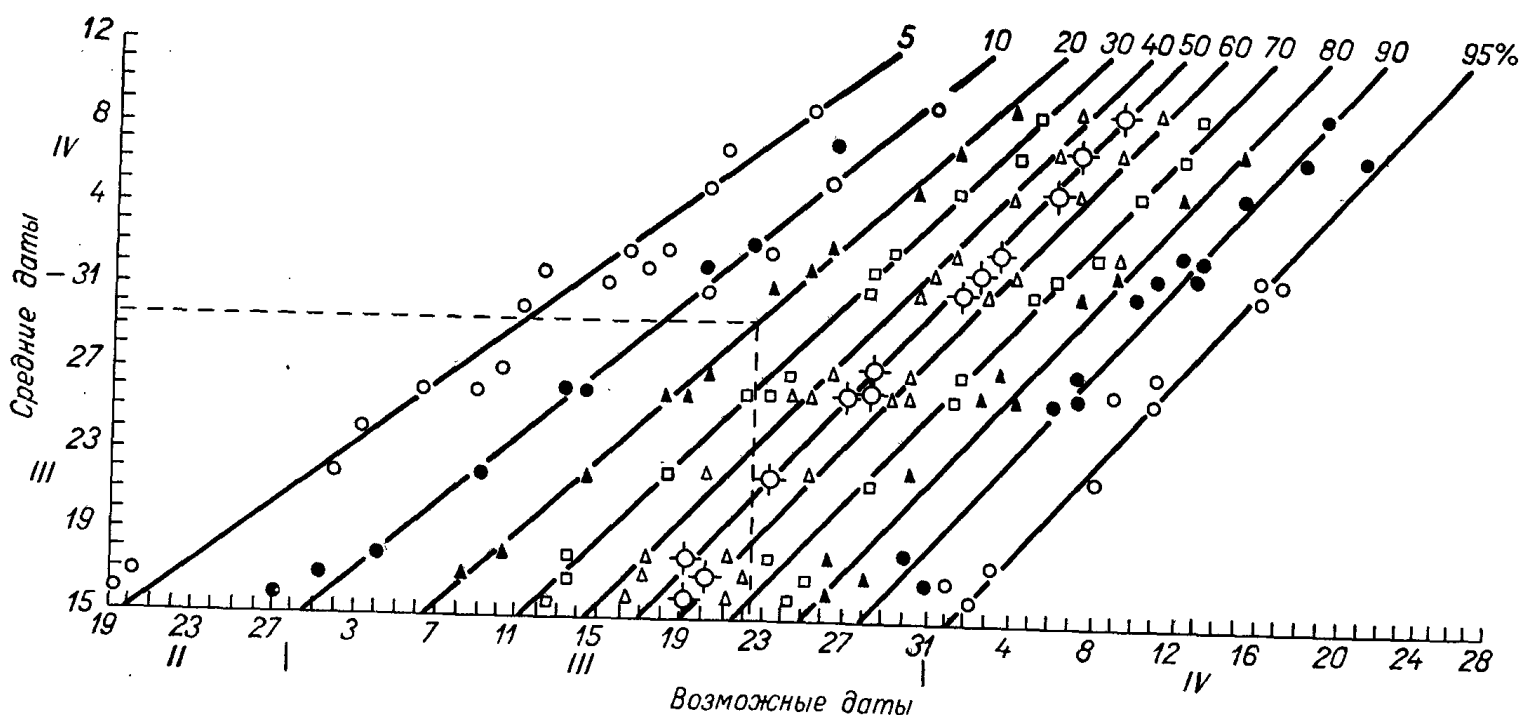


Рис. 5. График различной обеспеченности дат перехода средней суточной температуры воздуха через 0° в период подъема.

метеорологических станций. В случае необходимости они могут быть сняты непосредственно с климатических карт.

Расчетные графики позволяют получить значения экстремальных величин, встречающихся один раз в 10—20 лет и реже. С них также могут быть сняты и вероятности различных значений элемента в заданных пределах, и целый ряд других характеристик. Например, чтобы снять с графика дату, ранее которой в 20% лет весной осуществляется переход температуры через 0° , достаточно на оси ординат найти нужное значение нормы и от нее провести параллельно оси абсцисс прямую линию до пересечения ее с наклонной линией, соответствующей обеспеченности 20%; затем из точки пересечения опустить перпендикуляр на ось абсцисс. Точка пересечения с осью абсцисс и даст искомую дату. При нормальном распределении элемента 50%-ная обеспеченность соответствует средней многолетней дате.

1.6. Расчет продолжительности периода с температурами выше определенных пределов

Продолжительность периода с температурами выше определенных пределов характеризует длительность вегетации сельскохозяйственных культур. От продолжительности этого периода и обеспеченности его теплом зависят рост и развитие культур, степень их вызревания и урожайность, а также возможность повторных посевов.

Как в среднем многолетнем, так и по отдельным годам продолжительность периодов с температурой выше пределов 5, 10 и 15° весной и осенью вычисляется путем подсчета числа дней соответственно в пределах: от 5° весной до 5° осенью, от 10° весной до 10° осенью и от 15° в конце весны до 15° в конце лета. При подсчете продолжительности периода дата перехода температуры весной учитывается, а дата перехода осенью в подсчет не входит.

Обеспеченность продолжительности того или иного периода может быть рассчитана по отклонениям от средней многолетней величины или по интегральной кривой. Исходным материалом при любом способе расчета обеспеченности является продолжительность периода по отдельным годам.

При расчете по отклонениям необходимо знать среднюю многолетнюю продолжительность и отклонения продолжительности от средней по годам, затем подсчитать число случаев с теми или иными отклонениями по годам и выразить в процентах от всего числа случаев (табл. 4). По данным суммарной обеспеченности строится кривая обеспеченности (по оси Y откладываются проценты обеспеченности, а по оси X — отклонения; по точкам пересечения проводится плавная кривая (рис. 6)).

Обеспеченность продолжительности периода с температурой выше 10° показывает, что в 100% лет продолжительность указан-

Обеспеченность продолжительности периода с температурой выше 10°

Показатель	Отклонения							
	отрицательные				положительные			
	31—40	21—30	11—20	1—10	0—10	11—20	21—30	31—40
Число случаев	0	2	10	15	20	16	5	2
Процент случаев (вероятность)		2	14	22	30	23	7	2
Отклонения более определенных значений	>40	>30	>20	>10	>0	>10	>20	>30
Суммарная обеспеченность отклонений (%)		100	98	84	62	32	9	2

ного периода будет равна минимальной и более ее (минимальная

продолжительность соответствует средней многолетней продолжительности за вычетом 40 дней). В 50% лет продолжительность равняется средней многолетней величине, и самая большая продолжительность вегетационного периода (средняя многолетняя плюс 40 дней) составляет около 2% лет.

Обеспеченность продолжительности тех или иных периодов может быть получена также с помощью интегральной кривой. Интервальная кривая обеспеченности продолжительности периодов рассчитывается так же, как и кривая обеспеченности дат перехода температуры воздуха через определенные пределы по формуле (3). Данные по продолжительности периода располагаются для расчетов в убывающем порядке, т. е. от наибольшего значения к наименьшему.

Рис. 6. Обеспеченность продолжительности периода с температурой выше 10°.

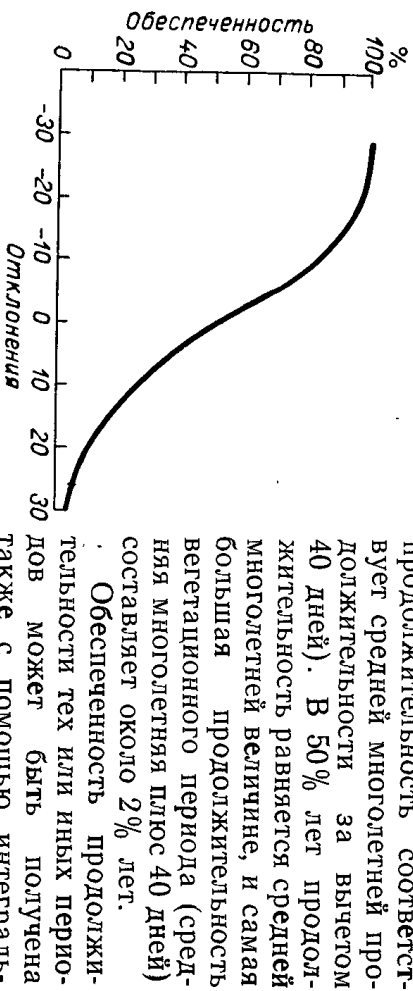


Рис. 6. Обеспеченность продолжительности периода с температурой выше 10°.

1.7. Расчет сумм активных и эффективных температур за вегетационный период

Развитие растений и накопление урожая идет путем нарастания необратимых качественных и количественных изменений, энергетической базой которых является сумма термических воздействий за определенные промежутки времени. Поэтому в качестве агроклиматического индекса тепловых ресурсов хорошим показателем является сумма температур (активных или эффективных).

Существенное влияние на потребность растения в тепле может оказывать освещение, особенно продолжительность освещения. Растения длинного дня ускоряют процессы развития при продолжительном освещении и лучше развиваются при непрерывном дне. Суммы температур в условиях длинного дня сравнительно малы. Длительность освещения является функцией широты и времени года, поэтому влияние продолжительности освещения на уменьшение температурной потребности растения учесть нетрудно.

Ф. Ф. Давитая [49] выражает показатель термических и световых ресурсов вегетационного периода фототермическим индексом:

$$FT = \sum_{i=D_n}^{D_k} [c(\bar{\theta} + \Delta t_{p-v} - \theta_0)] L, \quad (4)$$

где D_n — дата начала фазы, D_k — дата конца фазы, c — коэффициент, учитывающий влияние дневного максимума температуры и тормозящих (или балластных) температур, $\bar{\theta}$ — средняя суточная температура, Δt_{p-v} — разность температур растений и воздуха, θ_0 — температура начала фазы (биологический ноль), L — множитель, учитывающий влияние длины дня.

Существует два способа подсчета сумм температур. Сумма активных температур рассчитывается как сумма средних суточных температур выше биологического нуля. Биологическим нулем температур развития растений являются 5, 7, 8, 10 и 15° соответственно для той или иной культуры. Например, для характеристики теплообеспеченности зерновых культур за период с температурами выше 5° (от даты перехода температуры через 5° весной до даты перехода температуры через 5° осенью) суммируются значения периода температур выше 5° за все дни этого периода. Сумма активных температур широко вошла в практику агроклиматических исследований.

Практически для точных исследований по отдельным годам сумма активных температур подсчитывается по ежедневным данным средних суточных температур из таблиц ТМ-1. Подсчет активных температур, как указывалось, ведется выше жизненного нуля, но с учетом фактического уровня температуры. Например, температура 10,1° считается как 10,1°, а температуры 10,0° и ниже в расчет не принимаются.

Подсчет сумм температур в среднем многолетнем разрезе производится по средней месячной или средней декадной температуре, снятой с графика годового хода температур. С графика снимаются даты начала и конца периода с температурами выше какого-либо предела. Затем подсчитываются суммы активных температур за каждую декаду или месяц и суммируются за определенный период нарастающим итогом.

Суммы температур по декадам или за месяц получают умножением средней декадной или месячной температуры, снятой с гистограммы, на число дней декады или месяца.

За неполные декады или месяцы (в начале и конце периода) сумма температур подсчитывается по площади трапеции графика годового хода температуры (гистограмме). Площади трапеции отсекаются ординатами температур на дату перехода ее через определенный предел и на последний день декады или месяца весной

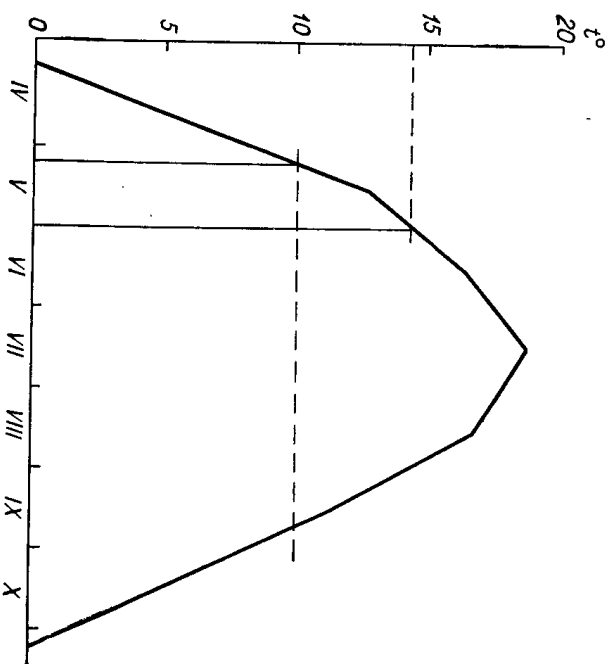


Рис. 7. Расчет сумм активных температур выше 10° по многолетним средним месячным температурам.

и, наоборот, от первого дня декады или месяца до даты перехода температуры воздуха через этот предел осенью. Число дней неполного месяца на графике служит высотой трапеции.

$$W = \frac{a+b}{2} n, \quad (5)$$

где a — температура на дату перехода через определенный предел; b — температура на конец (или начало) месяца, n — число дней неполного месяца.

Пример расчета по формуле.

Переход температуры воздуха через 10° весной по гистограмме (рис. 7) приходится на 6 мая, а на 31 мая температура воздуха, снятая с гистограммы, равна 14°. Продолжительность периода с температурой выше 10° составит в этом случае 25 дней. Сумма температур за май, рассчитанная по формуле (5), составляет 300°.

$$a = 10^\circ, \quad b = 14^\circ, \quad n = 25 \text{ дней},$$

$$\frac{10,0 + 14,0}{2} \cdot 25 = 300^\circ.$$

Сумма эффективных температур рассчитывается путем умножения средних температур данного периода (за вычетом биологического нуля — температуры, при которой начинается активный рост) на число дней периода:

$$\sum \theta = (t - t_0) n, \quad (6)$$

где t — средняя суточная температура периода n , выраженного в днях; t_0 — нижний предел эффективных температур (жизненный ноль); $\sum \theta$ — сумма температур исследуемого периода.

По указанному методу сумму можно подсчитывать из ежедневных наблюдений, имея месячную метеорологическую таблицу. Если при этом рост данного растения начинается при температурах, допустим, выше 5°, то средняя суточная температура 5,1° считается как 0,1°, а 5,0° и ниже не считается вовсе.

1.8. Расчеты обеспеченности вегетационного периода теплом

Значения средних многолетних сумм температур показывают, что суммы температур выше и ниже средних в тех или иных условиях будут повторяться через год или 5 раз в 10 лет. Между тем для сельского хозяйства очень важно знать определенную обеспеченность культурных растений суммами температур, необходимыми для завершения цикла их развития. Например, та или иная культура требует для созревания 2400°, а средняя многолетняя сумма температур в данном пункте 2100°. Следовательно, культура будет давать полноценный урожай только в годы с суммой температур 2400°. Для определения числа лет с такими суммами температур рассчитывается их обеспеченность.

Для получения обеспеченности по данным конкретного пункта производятся следующие расчеты. Подсчитываются суммы температур выше необходимого предела (5, 10° и т. д.) за отдельные годы. Затем рассчитывается средняя многолетняя сумма за весь период наблюдений и отклонения сумм температур по годам от средней (табл. 5). Случаи положительных и отрицательных отклонений группируются по грациям через 100°. Число случаев отклонений подсчитывается по каждой градации. Это число случаев выражается в процентах лет от всего периода наблюдений, используемого при обработке, т. е. подсчитывается вероятность лет с теми или иными отклонениями. Затем производится суммирование вероятности нарастающим итогом от наибольшего положительного отклонения до наибольшего отрицательного. Таким образом, получается обеспеченность вегетационного периода суммой температур выше определенного предела.

Все расчеты записываются по форме табл. 6. По данным таблицы обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше 10° строится кривая: по оси абсцисс наносятся отклонения сумм температур от средней величины, которая принимается условно за 0. По оси ординат дается обеспеченность в процентах (рис. 8).

Таблица 6

Расчет обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше 10°

Отклонения

Показатель	Отклонения											
	отрицательные					положительные						
	501— —600	401— —500	301— —400	201— —300	101— —200	1—100	0—100	101— —200	201— —300	301— —400	401— —500	501— —600
Число случаев	0	2	6	5	6	12	10	9	5	2	2	1
Процент случаев (вероятность)	4	10	8	10	20	17	15	8	3	3	2	2
Отклонения выше определенного уровня суммарная обеспеченность отклонений (%)	>600	>500	>400	>300	>200	>100	>0	>100	>200	>300	>400	>500

Рис. 8. Кривая обеспеченности вегетационного периода суммой температур.

температур.

По разности (1960°—2142°) получаем отклонение, равное —182°. На графике от оси абсцисс (от —182°) проводим прямую, параллельную ординате, до пересечения с кривой. По точке пересечения находим обеспеченность 80 %.

Таблица 7
Обеспеченность (%) вегетационного периода суммой температур в отклонениях от средней многолетней суммы

Обеспеченность, %	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45
Отклонения от средней, град.	-350	-273	-222	-182	-147	-120	-85	-57	-28	0	28
Обеспеченность, %	40	35	30	25	20	15	10	5			
Отклонения от средней, град.	57	85	120	153	189	233	287	386			

$$P = 50,333 - 7,545 \left(\frac{t_i}{50} \right) + 0,0024 \left(\frac{t_i}{50} \right)^2 + 0,02427 \left(\frac{t_i}{50} \right)^3, \quad (7)$$

где P — обеспеченность в процентах, t_i — отклонение от среднего. Сумма температур, подсчитанная в целом за вегетационный период, не характеризует отдельные его части. Учитывая, что рост и развитие растений протекает во времени, необходимо иметь сведения о накоплении сумм в течение вегетационного периода.

Расчет сумм температур на любую дату вегетационного периода производится по методу, предложенному академиком Ф. Ф. Давитая [49]. Для расчета используются данные нескольких станций с различными средними многолетними суммами температур (от наибольших до наименьших). Для каждой станции подсчитывается средняя многолетняя сумма температур по месяцам и нарастающим итогом на конец каждого месяца. Подсчет сумм температур выше какого-либо предела производится по графику годового хода средней месячной температуры воздуха. С графика снимается дата перехода температуры воздуха через тот или иной предел и средняя месячная температура воздуха.

На рис. 9 дается годовой ход температуры воздуха для станций А, Б, В, Г и Д. Необходимо определить дату перехода температуры воздуха через 10° . Для этого от оси Y (от 10°) проводим прямую до пересечения с кривой годового хода, от этой точки опускаем перпендикуляр на ось X и получаем дату перехода температуры воздуха через 10° (для станции А она приходится на 4/V). Таким же образом определяем дату перехода температуры воздуха через 10° осенью (27/IX).

Средняя месячная температура определяется на 15-е число каждого месяца. По рис. 9 от оси X с 15-го числа месяца проводим прямую до пересечения с кривой хода температуры, из этой точки опускаем перпендикуляр на ось Y и получаем среднюю месячную температуру.

Дата перехода температуры воздуха через тот или иной предел, подсчет сумм температур по месяцам и нарастающим итогом на конец месяца записываются по форме табл. 8.

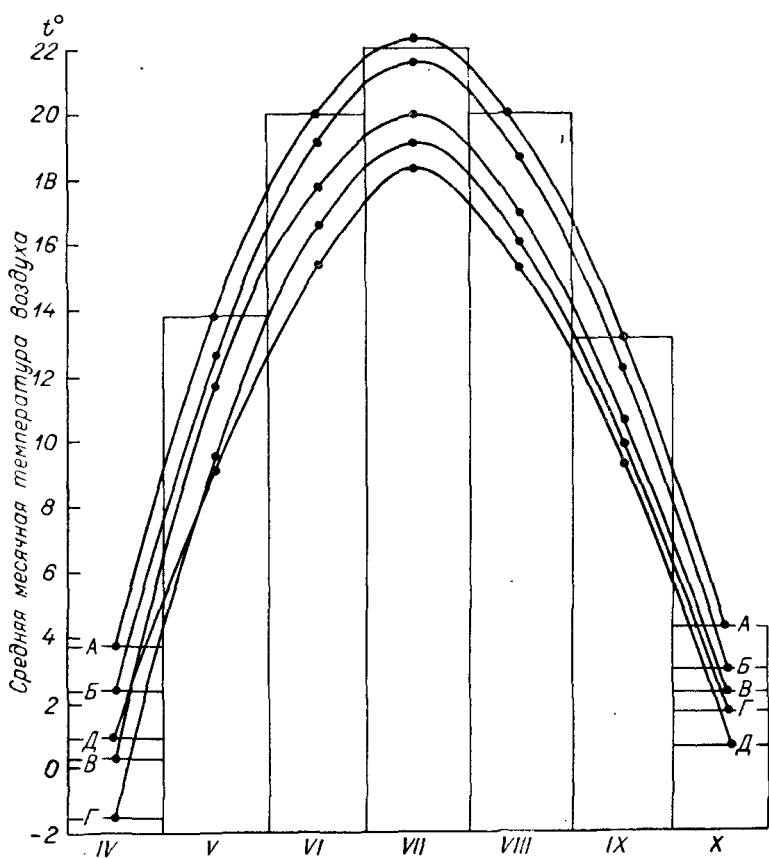


Рис. 9. Годовой ход температуры воздуха для станций А, Б, В, Г и Д.

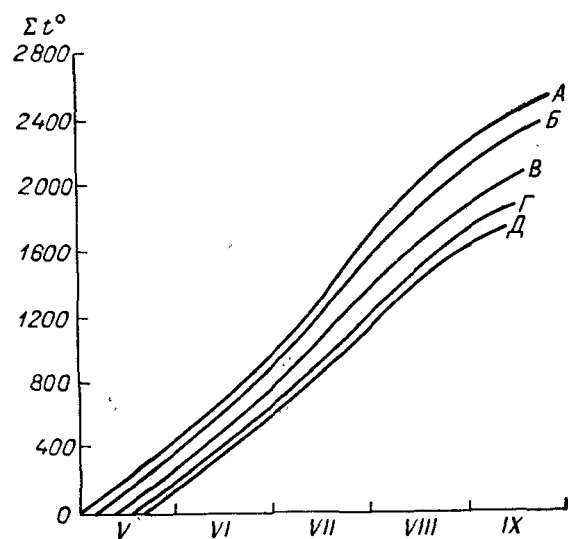


Рис. 10. Кривые нарастания сумм температур выше 10° по станциям А, Б, В, Г и Д.

Сумма температур выше 10° за месяц и нарастающим итогом на конец месяца

Стан- ция	Дата перехода температуры воздуха через 10°		Сумма температур > 10°									
			за месяц					нарастающим итогом на конец месяца				
	весной	осенью	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
A	4 V	27 IX	389	600	685	617	356	389	989	1674	2291	2647
Д	16 V	12 IX	164	465	560	477	151	164	629	1189	1666	1817

По данным табл. 8 строятся кривые нарастания сумм температур выше 10°. На оси X откладываются месяцы, а на оси Y — сумма температур (рис. 10). Эти кривые используются для построения номограммы накопления сумм температур выше 10° по типу рис. 11.

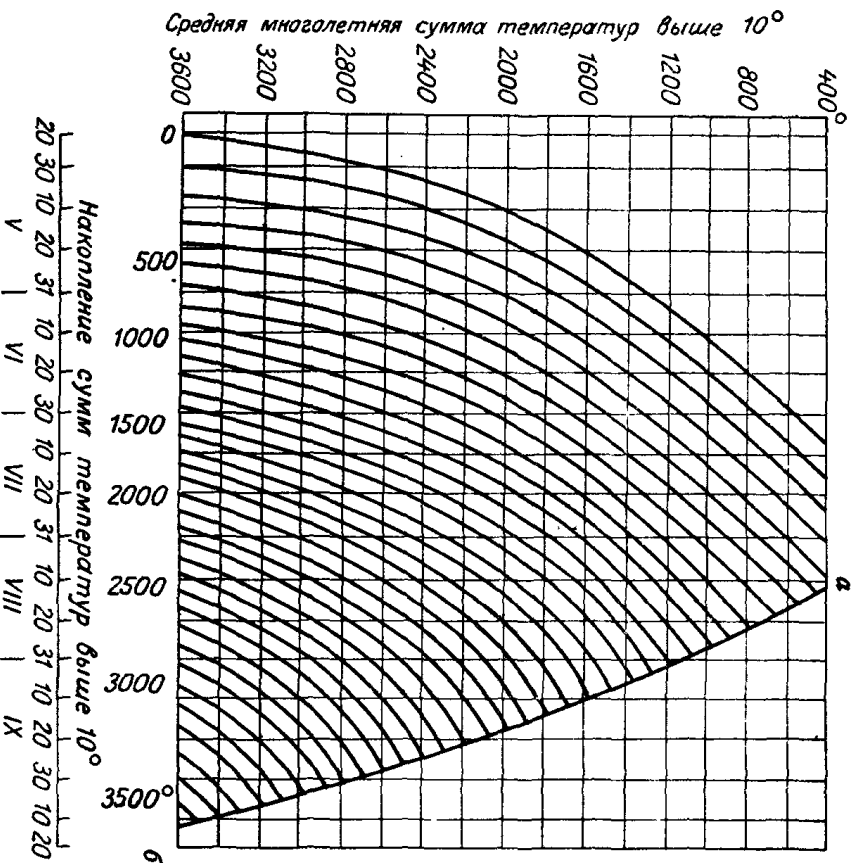


Рис. 11. Накопление сумм температур выше 10° в зависимости от средних многолетних сумм (номограмма).

Номограмма накопления сумм температур выше 10° строится по следующему принципу. На оси Y откладываются средние многолетние суммы температур за вегетационный период по станциям, данные которых использованы для расчетов. На оси X проставляются дни вегетационного периода. В поле координат для каждой станции с той или иной средней многолетней суммой температур выше 10° за вегетационный период проставляется точкой дата накопления заданных сумм температур по грациям: 0, 500, 1000, 1500° и т. д. Затем через эти точки проводятся линии различных сумм температур по вышеуказанным грациям. На номограмме кривая, соответствующая сумме температур 0°, указывает на начало периода с температурой выше 10°, а «замыкающая» кривая (а — б) — на конец этого периода.

Имея среднюю многолетнюю сумму температур для данного места, по номограмме можно рассчитать, к какому сроку будет накоплена сумма порядка 100, 200° и т. д. до конца вегетационного периода. Например, средняя многолетняя сумма температур выше 10° за вегетационный период в Астрахани составляет 3530°, а в Смоленске — 1970°. Необходимо определить для этих станций дату накопления сумм температур 1000°. От оси Y (от средних сумм 3530 и 1970°) проводим прямые до пересечения с кривой накопления сумм температур 1000° и, опуская перпендикуляр из той и другой точек на ось X, находим даты: для Астрахани это 16/VІ, для Смоленска — 13/VІІ (рис. 11). Точность сумм температур, рассчитанных по номограмме, составляет 50° и в редких случаях 100°.

Используя указанные номограммы, можно рассчитать сроки наступления различных фаз развития сельскохозяйственных культур для любых географических районов. Например, для наступления восковой спелости проса (позднего сорта Саратовское 853) требуется сумма температур выше 10° в пределах 1875°. В Ершове средняя многолетняя сумма температур выше этого предела равна 2844°.

По номограмме (рис. 11) на оси X находим среднюю многолетнюю сумму 2844°, от которой проводим прямую до линии с суммой температур, требуемой для созревания проса, — 1875°. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр, и на оси Y соответственно этой сумме получаем дату ее накопления — 4/VІІІ. Фактическая средняя многолетняя дата наступления восковой спелости проса, по данным станции Ершов, приходится на 5/VІІІ.

1.9. Оценка напряженности тепла в период вегетации

В качестве термического показателя условий роста и развития сельскохозяйственных культур, как излагалось ранее, используются суммы температур выше 10°. Однако к ним должны быть введены поправки на напряжение температур в период вегетации. При недостаточном напряжении месячных температур можно накопить суммы любой величины, а развитие растений будет задерживаться из-за недостаточного уровня температур. Так, например,

В тропиках можно накопить сумму температур порядка 4000—5000° при уровне 13—15°. Такое напряжение температуры будет недостаточным для плодоношения ряда теплолюбивых растений, которым нужны значительно меньшие суммы температур, но более высокие среднесуточные температуры. То же наблюдается при одних и тех же суммах температур в двух районах, сельскохозяйственной значимости которых может быть разной. Так, например, сумма температур выше 10° очень близка в Батуми (4400°) и Ташкенте (4300°), но средняя температура самого теплого месяца в Батуми 23°, а в Ташкенте 27°. Очевидно, что температурные условия Батуми и Ташкента будут определять совершенно разную их сельскохозяйственную возможность.

Таким образом, в агроклиматических расчетах наряду с суммами температур обязательно учет средних температур самого теплого месяца. Однако рост, развитие и урожай растений зависят не только от среднего уровня температуры, но и от того, как меняется этот уровень в течение суток. Для оценки напряжения дневных и ночных температур могут служить средняя суточная амплитуда температур, средние, минимальные и максимальные величины температур воздуха за месяц, декаду, сутки.

Средняя температура за самый теплый месяц, а также минимальные и максимальные температуры за различные периоды могут быть взяты из Справочников по климату СССР или сняты с графиков годового хода этих температур.

1.10. Расчеты по весенним и осенним заморозкам различной степени интенсивности и различной вероятности

Обычно оценка весенних и осенних заморозков в агроклиматологии дается с точки зрения фактора, ограничивающего использование ресурсов тепла, а также корректировки сроков сева теплолюбивых культур и планирования мероприятий по борьбе с заморозками.

Известно, что весенние и осенние заморозки в значительной мере лимитируют использование имеющихся ресурсов тепла. Например, сумма температур выше 10° почти одинакова для Ай-Петри в Крыму (1800°) и Тобольска в Сибири (1700°). Между тем средняя продолжительность безморозного периода в Ай-Петри 147 дней, а в Тобольске 99.

Чаще всего характеристика заморозков в агроклиматологии дается в виде средних и крайних дат прекращения заморозков весной и наступления их осенью, вероятностей этих дат, а также в виде средней продолжительности безморозного периода и вероятности различной продолжительности. Даты первых и последних заморозков связаны с ночным выхолаживанием и могут значительно варьировать в пределах даже небольшой территории в зависимости от рельефа и характера подстилающей поверхности. Поэтому для более полного освещения территории должно быть использовано возможно большее число станций.

Многолетние средние даты наступления первого и последнего заморозка вычисляются за период наблюдений не менее 15 лет. Данные станций с короткими рядами приводятся к многолетнему периоду на основе построения корреляционного графика связи между средним минимумом температуры в весенние или осенние месяцы и средними датами последних или первых заморозков. Для установления характера связи корреляционные графики (отдельно для последнего и первого заморозка) строятся по данным станций с периодом наблюдений не менее 25—30 лет и только в случае очень хорошей корреляции используются станции с более короткими рядами — 15—20 лет.

График строится следующим образом. По оси абсцисс откладываются многолетние средние даты первого и последнего заморозка, а по оси ординат — средние минимальные температуры за тот месяц, на который приходится дата большинства станций. Если часть дат падает на конец одного месяца, а часть дат на начало другого, то выбирается один из этих месяцев, для которого связь будет лучшей. Рекомендуемый масштаб по ординате 1° — 1 см, по абсциссе 5 дней — 1 см. Станции, которые используются для построения графика, нумеруются, и номер ставится около соответствующей точки на графике. По полученным точкам строится плавная кривая, показывающая характер зависимости между датами первого и последнего заморозка и средними минимальными температурами. В пределах района со сравнительно небольшими изменениями в температуре и датах связь большей частью выражается прямой линией. Если же график охватывает территорию со значительными изменениями температуры и дат, линия связи может быть искривленной. Считая построенную кривую характерной для всей исследуемой территории, можно, зная средний минимум короткорядных станций, снять для них с графика даты первого и последнего заморозка.

В некоторых случаях при построении графика наблюдается большое рассеяние точек. Это обуславливается тем, что в разных частях территории характер связи между средними минимумами и датами наступления первых и последних заморозков неодинаков, например на побережье моря и вдали от него, в различных условиях горного рельефа и т. д. К рассеянию точек на графике ведут также и микроклиматические различия. В этом случае на графике следует строить две линии зависимости. Когда трудно учесть причины рассеяния точек вследствие разнообразия микроклиматических условий и нельзя провести вторую линию, рекомендуется короткий ряд привести к длинному методом разностей. При этом необходимо, чтобы опорная и приводимая станции находились в одинаковых микроклиматических условиях.

Окончательный анализ полученных средних многолетних дат производится на картах.

Крайние даты первого и последнего мороза получают путем непосредственной выборки из длинных (не менее 15 лет) рядов наблюдений. Для рядов короче 15 лет даются только средние даты

Характеристика заморозков в виде средних и крайних дат прекращения заморозков весной и наступления их осенью для сельскохозяйственного производства недостаточна. Для оценки опасности заморозков применительно к сельскохозяйственным культурам и оценки морозоопасности территории необходимо иметь сведения о вероятности наступления заморозков в определенные отрезки времени, соответствующие наиболее морозоопасным периодам в жизни растений, например цветению плодовых, появлению всходов бахчевых и др. Эти сведения могут быть представлены в виде суммарной вероятности (в процентах), которая говорит о том, что заморозки наступят в определенное число лет на позднее указанной даты весной и не ранее ее осенью.

[illegible]

И. А. Гольдберг [23, 24] разработала методы расчета вероятностных характеристик заморозков и методику учета повторяемости стнгов на основании средних многолетних величин.

Обработку материала для определения кривой вероятности вести тремя способами, дающими одинаковый результат.

Таблица 10

Показатель	27—31	Март
	1—5	Апрель
	6—10	
	11—15	
	16—20	
	21—25	
	26—30	
	1—5	Май
	6—10	
	11—15	
	16—20	
	21—25	
	26—30	
	31 V—4 VI	Июнь

3*

Вероятность наступления безморозного периода. Ст. Василевичи.
[Подсчет вероятностей по отклонениям от средней (1/V)]

Показатель	Отклонения от средней									
	отрицательные					положительные				
	35—31	30—26	25—21	20—16	15—11	10—6	5—0	0—5	10—15	16—21
Число случаев	0	1	1	7	6	4	8	7	4	3
Число лет	0	2	2	9	15	19	27	34	38	41
Суммарная вероятность (%)	0	2	4	18	30	38	54	68	76	82
									86	92
									98	100
										1

Полученные величины числа случаев за пентаду, выраженные в процентах, наносят на график нарастающим итогом, относя данные за каждую пентаду на последний ее день (рис. 12) ввиду того, что они представляют сумму всех случаев за прошедшую пентаду (например, с 1 по 5, с 6 по 10 и т. д.). По этому графику легко определить, как часто к заданному числу уже наблюдается изучаемое явление на данной станции, однако сравнивать кривые станций между собой и осреднять полученные результаты в зависимости от средней неудобно, потому что календарные сроки этих кривых сдвинуты в зависимости от времени наступления заморозков на отдельных станциях.

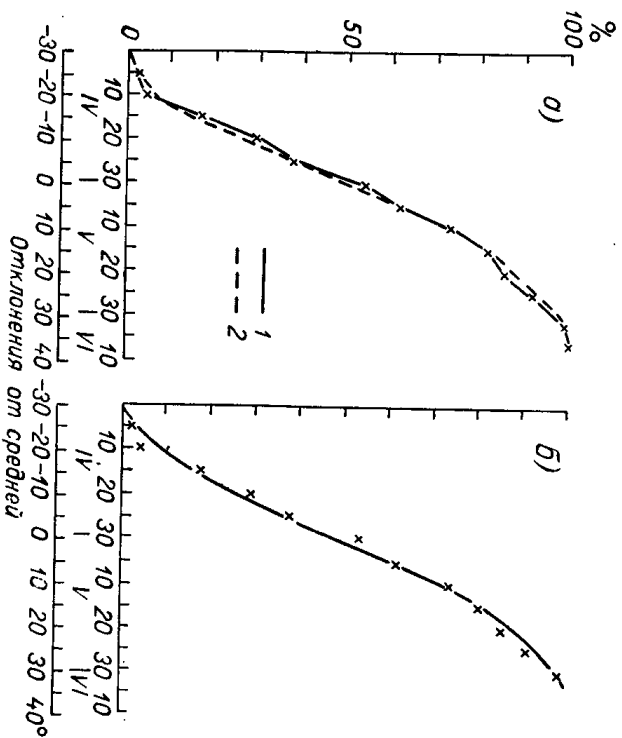


Рис. 12. Способы построения кривых суммарной вероятности.

а — по пентадам и по отклонениям от средней, б — по формуле: 1 — ломаная линия, проведенная по точкам, 2 — графически сглаженная кривая. Крестиком показаны точки, полученные по пентадам [23].

2. Для сравнения станций между собой и выявления зависимости вида кривых от средней их надо нанести на общий график, что легко сделать, построив кривые вероятностей по отклонениям от средней (табл. 11).

Определив кривую вероятности, полученные результаты наносят на график (рис. 12 б) в отклонениях от средней, которая принимается за нуль. При подсчетах случаев отклонений происходит некоторая передвижка пентад в отношении средней даты (в приводимом примере на один день после 1 мая), в результате чего кривая строится по несколько иным точкам, чем на рис. 12 а. На такой график можно нанести все изучаемые станции от одного общего

нуля и сравнивать кривые между собой. Нанося полученные точки на график также на конец пентады, нетрудно убедиться, что в случае совмещения нуля со средней датой (1 мая) будем иметь точно такую же кривую, как и полученную по первому способу, хотя она строится по нескольким иным точкам. В некоторых случаях возможны небольшие расхождения, которые получаются за счет излома кривых и несоответствия отдельных интервалов.

В тех случаях, когда средняя дата повторяется несколько раз (в данном примере 1 мая повторяется один раз), нулевые отклонения разносятся в две соседние графы поровну или, как в приведенном случае, их относят к группе, имеющей сумму всех случаев меньше 50%.

Для удобства оценки совпадения типов кривых отдельных станций, полученных в отклонениях от средней, кривые вероятности вычерчиваются отдельно на кальке, а затем накладываются одна на другую по точке нуля.

Для сокращения технической работы по подсчету отклонений от средней можно получить эти отклонения, прибавляя к графику (рис. 12), построенному по пентадам, вторую шкалу отклонений, причем за нуль принимается средняя дата.

Построение суммарной кривой вероятности по отклонениям от средней является лишь рабочим приемом, существенно облегчающим определение типа кривой. В окончательном виде таблицы вероятностей всегда составляются в значениях основной шкалы (градусы, даты и т. д.).

Получаясь в результате обычно недостаточной длины ряда небольшие изломы кривой сглаживаются от руки. Кривые считаются совпадающими, когда они в пределах вероятностей от 90 до 10% расходятся по отдельным грациям не более чем на 8—10%. При расхождении более 10—15% на их концах кривые относят к разным типам. Оба приведенных выше способа пригодны для

определения типа кривых вероятностей любой формы, как симметричной, так и асимметричной.

3. При построении кривых вероятностей аналитическим способом (табл. 12) по тем же наблюдениям используется формула квадратического отклонения

$$\sigma = \sqrt{\sum d^2/n}, \quad (8)$$

где $\sum d^2$ — сумма квадратов отклонений от средней (табл. 9), n — число лет наблюдений.

Таблица 12

Вероятность наступления безморозного периода. Ст. Василевичи.
[Подсчет вероятностей по формуле (8)]

Показатель	Вероятность, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент	-2,25	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	1,28	2,25
Отклонения в днях ($\sigma=15,1$)	-34	-19	-13	-8	-4	0	4	8	13	19	34
Даты по отклонениям от средней (1 V)	26 III	12 IV	18 IV	23 IV	27 IV	1 V	5 V	9 V	14 V	20 V	4 VI

Формула пригодна только для достаточно симметричных кривых и применяется для построения кривых вероятностей, главным образом дат перехода через температуры разных уровней, дат заморозков, продолжительности периодов и т. д.

Для вычерчивания кривой используются следующие коэффициенты:

Вероятность, %	50	60	70	80	90	100
Коэффициент к значению σ	0	$\pm 0,25$	$\pm 0,52$	$\pm 0,84$	$\pm 1,28$	$\pm 2,25$

Для ст. Василевичи в разбираемом примере $\sigma=15,1$. Вероятность отклонений от средней (в этом случае в днях) определяется данными табл. 12, причем коэффициент со знаком минус показывает величины меньшие средней, со знаком плюс — большие средней. На рис. 126 вычерчена кривая вероятности, полученная по этому способу, и на ней указаны точки, полученные по первому и второму способам. Как видно из рисунка, все три кривые хорошо совпадают.

Приведенная в табл. 12 вероятность наступления безморозного периода по ст. Василевичи показывает, что при средней дате 1 мая заморозки не оканчиваются ранее 26 марта (0% вероятности наступления безморозного периода). Ранее 18 апреля безморозный

период может начаться только в двух годах из 10 (20% вероятности), к 1 мая он начинается в половине всех лет (50%). Один раз в 10 лет заморозки могут продолжаться до 20 мая и в редкие годы по 4 июня. После 4 июня обеспечено наступление безморозного периода во все годы.

Обычные наиболее частые сроки начала безморозного периода колеблются в пределах вероятности от 20 до 80%, т. е. для ст. Василевичи между 18 апреля и 14 мая, в течение этого времени заморозки заканчиваются в 6 годах из 10. При больших колебаниях розки заканчиваются по годам кривые, полученные по первому и изучаемого элемента даже из 50-летнего ряда наблюдений, довольно второму способам и их приходится сглаживать от руки. В этом случае расчет кривой вероятности по σ дает объективный прием сглаживания кривой. Некоторое несоответствие кривых, полученных путем подсчета числа случаев и по σ , наблюдается обычно на малых вероятностях (менее 5%) на обоих концах кривой. Кривая по σ обычно оказывается несколько длиннее определенной из наблюдений. При увеличении длительности ряда наблюдений эти недостатки в эмпирическом ряду величины могут восполниться. Основным преимуществом определения кривой вероятности по формуле является возможность картирования величины σ , полученной на разных станциях, а также удобство сравнения отдельных кривых между собой.

При необходимости осреднения кривых величина σ также удобна. Среднюю величину σ можно вывести в тех случаях, когда ее значение по отдельным станциям колеблется в пределах 1—2. Для получения вероятности (обеспеченности), общей для целого района, необходимо картировать величины σ , затем при соблюдении условия одинаковости σ (с отклонением не выше 1—2) вычислить среднюю σ для всего района и, умножая на заданные коэффициенты, построить кривую обеспеченности.

Убедившись в том, что тип кривой вероятности по рассматриваемому району существенно не изменяется, и зная пределы, в которых меняются средние величины изучаемого элемента, можно составить таблицы вероятности наступления безморозного периода в отдельные годы ранее указанных дат в зависимости от средней (табл. 13). Для составления этих таблиц с общей для района кривой вероятности снимаются значения вероятностей, соответствующие определенной средней величине.

Целесообразность составления таблиц позднее или ранее указанной даты, выше или ниже заданного уровня определяется целью составления таблицы. В зависимости от заголовка вероятности раскладываются либо от 100 до 0%, либо от 0 до 100% (как в приведенных выше примерах). Расположение вероятностей должно строго соответствовать заголовку.

При построении кривой в обоих случаях исходят из подсчета суммарной величины за пентаду и поэтому в первом случае (подсчет от 100 до 0%) полученные величины относятся к первому дню пентады, а во втором случае (подсчет от 0 до 100%), как это пока-

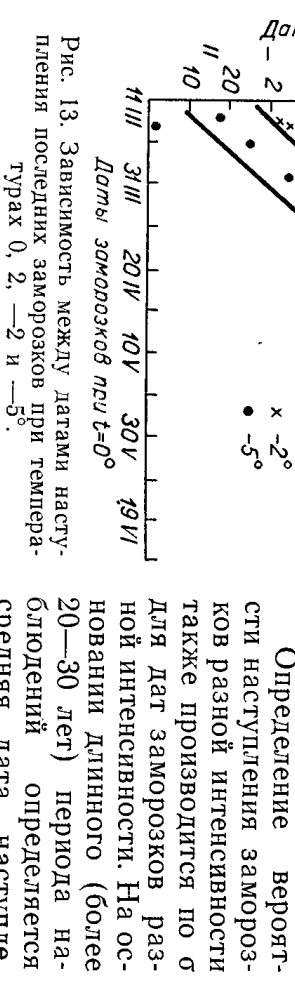
зано на приведенном выше примере, — к последнему ее дню. Кон- тролем правильности построения кривой во всех случаях служит хорошее календарное совпадение крайних и средних расчетных зна- чений с наблюдаемыми величинами.

Таблица 13
Вероятность (%) наступления безморозного периода в отдельные годы ранее указанных дат (в зависимости от средней даты)

Средняя дата последнего замо- розка	Март			Апрель						Май						Июнь		
	18	22	27	1	6	11	16	21	26	1	6	11	16	21	26	1	6	11
21 IV 1 V	0	2	4	8	15	25	40	50	60	75	83	90	96	98	100		98	100

В связи с тем, что различные виды растений имеют неодинако- вую устойчивость к заморозкам, необходимо наряду со средними датами наступления и прекращения заморозков при 0° определить

средние сроки наступле- ния заморозков различ- ной интенсивности (—1, —2, —3, —4° и т. д.) и их вероятность. Средние сро- ки наступления замороз- ков различной интенсив- ности могут быть получе- ны по графикам зависи- мости между датами наступления последних заморозков при различ- ных температурах (0, 2, —2, —5° и т. д.). Пример построения такого графи- ка показан на рис. 13.



интенсивности через 1—2° (для 2, 0, —2, —4 или —5°) и соответ- ствующие этим значениям интенсивности величины σ по фор- муле среднего квадратического отклонения. При подсчете средней

даты заморозков разной интенсивности и их σ по каждой станции должны быть использованы одни и те же годы наблюдений.

При выборке дат заморозков из таблиц метеорологических на- блюдений (ТМ-1) к заморозкам данной интенсивности относятся все случаи с минимальной температурой, равной или ниже задан- ной градации. Если последний заморозок был довольно сильным, то дату его наступления приходится повторять для разных града- ций. Например, в каком-то году последние заморозки на станции были отмечены 9 апреля (—5,6°), 25 апреля (—2,5°), 8 мая (—1,2°). В этом случае заморозок 8 мая включается в градации 2° (и ниже) и 0° (и ниже). Заморозок 25 апреля относится к градации —2° (и ниже), а заморозок 9 апреля — к градации —4° (и ниже).

При колебаниях величины σ в пределах ± 2 единиц по отдель- ным градациям она принимается в виде средней величины по всем градациям. При систематическом росте или уменьшении ее для последующих расчетов принимаются полученные величины σ по градациям.

По величине σ определяется вероятность наступления замороз- ков для интенсивности 2, 0 и —5° (по примеру табл. 12). Расчет- ные данные выписываются в соответствующую таблицу (табл. 14 и 15) и по ним строится график вероятности заморозков разной ин- тенсивности (рис. 14). На оси ординат показана интенсивность за- морозков в метеорологической будке начиная с 2°. Полученные даты (табл. 15) с вероятностью наступления заморозков через 10% наносятся, согласно календарным значениям, по оси абсцисс на уровне соответствующей минимальной температуры (на рис. 14 по- казаны точками) и соединяются прямыми линиями.

Таблица 14
Отклонения от средней даты (дни) в зависимости от значения σ

σ	Вероятность прекращения заморозков, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
16	—36	—21	—13	—8	—4,0	0	4,0	8	13	21	36
14	—31	—18	—12	—7	—3,5	0	3,5	7	12	18	31
12	—26	—15	—10	—6	—3,0	0	3,0	6	10	15	26

На рис. 14 дана вероятность прекращения заморозков разной интенсивности весной (от 10 до 100%) и наступления их осенью (от 0 до 90%) в виде прямых; 10% на этом графике означает, что к указанному времени только в один год из 10 можно ожидать прекращения заморозков весной, а 100% соответствует дате пол- ного их прекращения.

Пример расчета графика на рис. 14: средняя дата прекращения заморозков на почве (минимальная температура $< 2^\circ$ в метеоро- логической будке) в ВССР в Полесье весной приходится на 15 мая, при 0° и ниже в воздухе — на 1 мая, при —5° и ниже в воздухе —

на 25 марта. Соответствующие величины σ равны 16 при 2° , 14 при 0° и 12 при -5° .

Используя данные табл. 14, рассчитываем даты заморозков разной интенсивности по отдельным годам, приведенные в табл. 15.

Таблица 15
Расчетные данные для построения графика на рис. 14

Интен- сив- ность замо- розов, град.	Сред- ние даты	Вероятность прекращения заморозков по отдельным годам									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2	15 V	16 IV	2 V	7 V	11 V	15 V	19 V	23 V	28 V	5 VI	20 VI
0	1 V	14 IV	19 IV	24 IV	28 IV	1 V	4 V	8 V	13 V	19 V	1 VI
-5	25 III	12 III	15 III	19 III	22 III	25 III	28 III	31 III	4 IV	9 IV	20 IV

Построение аналогичных графиков для осени не представляет трудностей, но знаки отклонений для σ меняются на обратные и изменяется направление изоглиний вероятности заморозков, которые осенью соответствуют общему падению температуры.

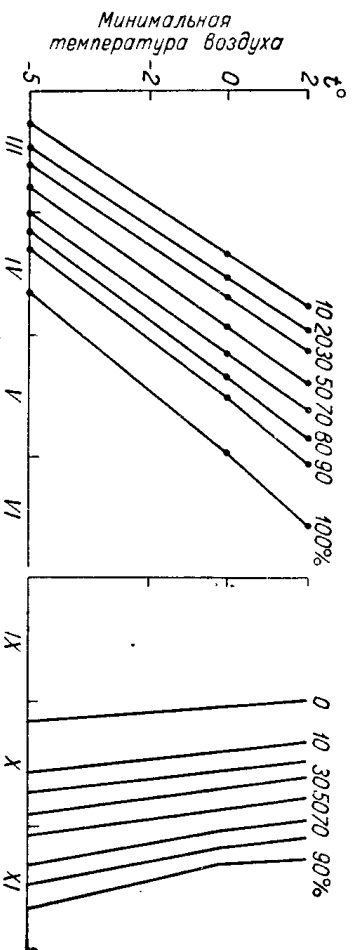


Рис. 14. Вероятность заморозков разной интенсивности в Полесье.

По графикам такого типа можно определить вероятность прекращения весной заморозков любой интенсивности в воздухе и на поверхности почвы на заданное число вегетационного периода для ровного открытого места, а также определить возможные колебания интенсивности заморозков на любой отрезок времени с учетом вероятности прекращения их весной или наступления осенью. Например, по приведенному графику для Полесья при средней дате прекращения заморозков в воздухе 1 мая требуется определить, к какому сроку прекратятся заморозки интенсивностью -2° в воздухе (или около -5° на почве). Двигаясь по горизонтали для интенсивности -2° , видим, что прекращение заморозков этой интен-

сивности 30 марта возможно 1 раз в 10 лет (10% вероятности), полное прекращение их в любой год — только 15 мая (100% вероятности). Два раза в течение десяти лет такие заморозки могут продолжаться еще после 4 мая (80% вероятности прекращения их). Средняя дата, соответствующая 50%, приходится на 17/IV. Двигаясь по вертикали, можно определить, что к 25 мая легкие заморозки на поверхности почвы прекращаются в 7—8 годах из 10 (75% вероятности); сильных заморозков до -4° после этой даты не бывает.

При изменении средней даты прекращения заморозков в воздухе на 5—10 дней (например, 10 мая вместо 1 мая) следует соответственно сдвинуть календарную шкалу. Тогда все приведенные выше вероятности также передвинутся на соответствующее число дней.

1.11. Расчеты по длительности безморозного периода

Характеристика климатических условий для возделывания культурных растений должна обязательно проводиться с учетом продолжительности безморозного периода в отдельных районах. Если длительности вегетационного периода данного сорта не укладывается в безморозный период интересующего нас района, то заморозки будут захватывать начало и конец вегетации. При значительном расхождении этих периодов систематически будут подмерзать всходы, почки, цветы, плоды и урожай будет крайне неустойчивым.

Средняя величина безморозного периода вычисляется как разность между средними многолетними датами первого и последнего мороза. Наибольшая и наименьшая величины безморозного периода выбираются из данных за отдельные годы, а не по разным крайним дат, так как маловероятно, чтобы крайние даты падали на один и тот же год.

Между средней и наименьшей продолжительностью безморозного периода существует тесная связь. При помощи графика связи легко получить наименьшее значение безморозного периода при любых значениях средней его продолжительности.

Для пересчета средней продолжительности безморозного периода на более слабые и более интенсивные заморозки можно воспользоваться существующей между этими величинами зависимостью, показанной на рис. 15. При помощи этих графиков можно получить среднюю продолжительность безморозного периода, заключенного между последней и первой датой понижения температуры до 2° , -2° и -5° .

Вероятность длительности безморозного периода рассчитывается по отклонениям от средней (см. расчет продолжительности периода с температурами выше определенных пределов).

1.12. Построение карт теплообеспеченности

Одним из наиболее рациональных видов представления агроклиматического материала является картирование. Возможная деградация основных агроклиматических показателей при карто-

вании определяется: 1) степенью изученности картируемого элемента, 2) изменчивость его в пространстве, 3) густотой метеорологической сети, 4) наличием дополнительных наблюдений (в основном микроклиматического характера) и 5) соответствующей ги-сометрической картой, служащей основой для картографического изображения.

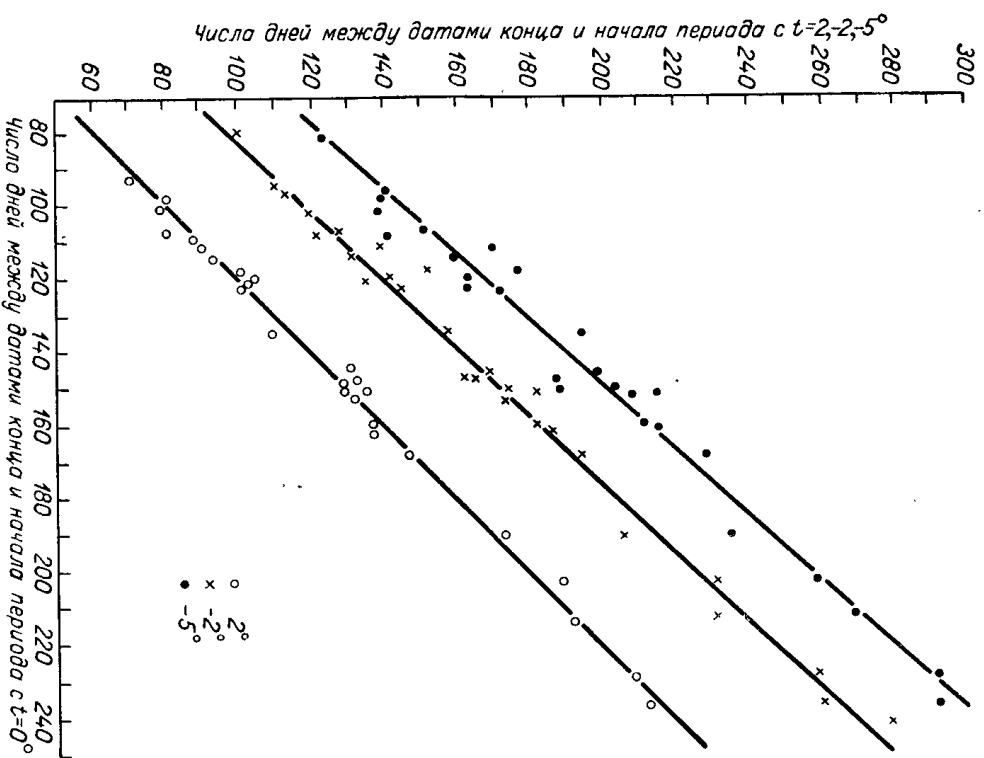


Рис. 15. Зависимость продолжительности периода между последними и первыми заморозками при температурах 0, 2, —2 и —5°.

Как известно, тепловые ресурсы территории оцениваются суммами активных температур за период вегетации. Методика картирования сумм температур разработана в основном для карт масштаба 1:2500 000 и мельче [25, 26, 61]. Карты в указанном масштабе обеспечивают изображение всех особенностей микроклимата территории. Микроклиматические различия на этих картах изобразить невозможно.

При картировании сумм температур производится следующее.

1. Устанавливается правильный рабочий масштаб карты, так как техника проведения изолиний на картах разного масштаба различна. Например, на карте масштаба 1:500 000 влияние крупных рек на термический режим долин, занимающих по ширине обычно не более 3—5 км, изобразить невозможно. На карте более крупного масштаба (1:2500 000) изолинии обходит реку с двух сторон, выделяя ее долину по теплообеспеченности.

2. Определяется интервал суммы температур, через который будут проведены изолинии. Чем мельче масштаб карты, тем крупнее должен быть интервал между изолиниями.

Основным критерием при выборе интервала для проведения изолиний является изменчивость картируемого элемента в пространстве. Интервал определяется с таким расчетом, чтобы колебания картируемой величины по отдельным станциям укладывались между изолиниями. Например, колебания средних месячных температур не превышают 0,5—0,6° в пределах ограниченного равнинного района. Нарастание или убывание средней месячной температуры по территории происходит достаточно равномерно. Довольно большая устойчивость средней месячной температуры воздуха в пространстве позволяет картировать ее с интервалом в 1°, а в горных районах через 2 или даже 4°.

Сумма температур относится к более осредненным характеристикам (по сравнению с заморозками и др.), поэтому влияние подстилающей поверхности и часто даже форма рельефа проявляется слабо. При картировании суммы температур дает более устойчивую ровную картину распределения. Обычным интервалом для проведения изолиний принимается сумма температур в 100°.

3. Устанавливается репрезентативность станций. Для этого используются паспорт станции. Однако описание в паспортах не всегда дают объективную оценку. Поэтому определение местоположения станции должно проводиться также по анализу отдельных характеристик термического режима. Строя графики зависимости между характеристиками температуры, отражающими влияние подстилающей поверхности в различных условиях стратификации атмосферы (днем и ночью), можно получить четкое разделение точек по типам местоположения станции. Например, для этих целей удобен график связи средней температуры в 13 час. и средней минимальной [85].

Такая же четкая типизация станций проявляется при построении зависимости двух величин, из которых одна чувствительна к микроклиматическим изменениям, вторая инертна, например к сумме температур выше 10° за вегетационный период и продолжительностью безморозного периода.

В довольно выровненных районах (высоты в пределах 250—300 м) суммы температур в основном зависят от ширины места. В районах с наличием возвышенностей влияние оказывает как широта, так и высота места. Иногда при большой протяженности территории с севера на юг и наличии возвышенностей, простираю-

шихся с запада на восток, не представляется возможным получить высотные градиенты термических показателй в чистом виде. Поэтому строится график зависимости сумм температур от высоты

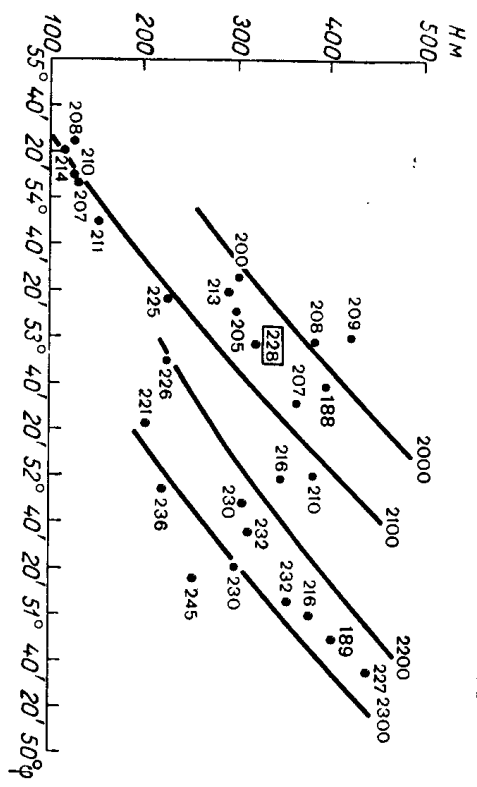


Рис. 16. График для определения градиентов сумм температур выше 10° для северной части Казахского мелкосопочника. Числа в поле графика показывают суммы температур выше 10° для отдельных метеорологических станций (в десятках град.). Жирным шрифтом выделены станции в «озерах холода», в прямоугольнике дана станция Боровое-хурорт.

и широты места. На рис. 16 дана часть такого рабочего графика. На основании графика составляется табл. 16.

Таблица 16

Суммы температур в зависимости от высоты над уровнем моря [61]. Целиноградская область		
Часть области	Высота, м	Сумма температур выше 10°
Север, 52°00'—52°30'	300	2200
	400	2130
	500	2050
Средняя часть, 50—52°	300	2350
	400	2280
	500	2200
Юг, 49—50°	300	2500
	400	2430
	500	2350

Данные этой таблицы учитываются при проведении изолиний на гипсометрической основе. При вычерчивании изолиний следуют по рассчитанной горизонталги, плавно переходя от одной высоты к другой согласно данным расчетной таблицы. Мелкие изолинии гипсометрической карты, отражающие изменения рельефа в пределах 10—25 км, которые на картах в масштабе 1:2500 000 предста-

влены изгибом длиной менее 2,5 см, при проведении изолиний не принимаются во внимание. Пример составления карты сумм температур воздуха выше 10° для одной области приведен на рис. 17.

На рис. 18 и соответствующей ему табл. 17 показан расчет высоты прохождения изотерм на разных широтах в условиях довольно ровного рельефа.

Таблица 17

Высота (м) прохождения изотерм сумм температур выше 10° [61]				
Широта	Сумма температур, град.			
	2300	2200	2100	2000
53°	200	—	—	—
53°30'	170	—	—	—
54°	140	190	240	290
54°30'	—	160	210	260
55°	—	130	180	230

Рассмотрение цифровой нагрузки карты (рис. 17) и графика (рис. 18) показывает, что при малых различных высот и широт влияние высотного и широтного градиента часто перекрывается особенностями местоположения станций. Это действительно даже для такой мало чувствительной к микроклимату характеристике, как сумма температур воздуха. Данные ряда станций на карте не соответствуют средним термическим условиям района, причем отклонения бывают разного знака. Превышение сумм температур отклоняется на городской станции, расположенной около 54° широты на высоте 231 м (100°).

Уменьшение сумм температур наблюдается в понижениях рельефа, в долинах. Даже при нормальном положении метеорологических станций на ровных открытых местах суммы температур на близких расстояниях изменяются в пределах ±30—50°, что определяет возможную точность расчета высоты изотерм и не позволяет принять интервал между ними менее 100°.

На высотах более 250—300 м нет ни одной станции. На карте в рабочем масштабе 1:2500 000 эти высоты четко выделяются и занимают относительно большие площади в средней части области. На этой территории проводятся изотермы, определенные расчетным путем с использованием градиентов, полученных по рис. 18 путем экстраполяции их на нужные высоты. Показанные на карте пятна с суммой температур ниже 2000° отражают результаты этих расчетов.

Понижения температуры на больших озерах или реках в теплые время года вычерчиваются изогнутой изолинией по берегам либо даются отдельным замкнутым контуром. «Кружки» изолиний около отдельных станций проводятся только в том случае, если они

характеризуют обширное пространство (например, заболоченные районы).

Следует, однако, сказать, что в районах со значительными различиями в механическом составе почвы большое значение имеет учет климата почвы, т. е. термического режима. Учет влияния на агроклиматические условия «теплых» и «холодных» почв возможен

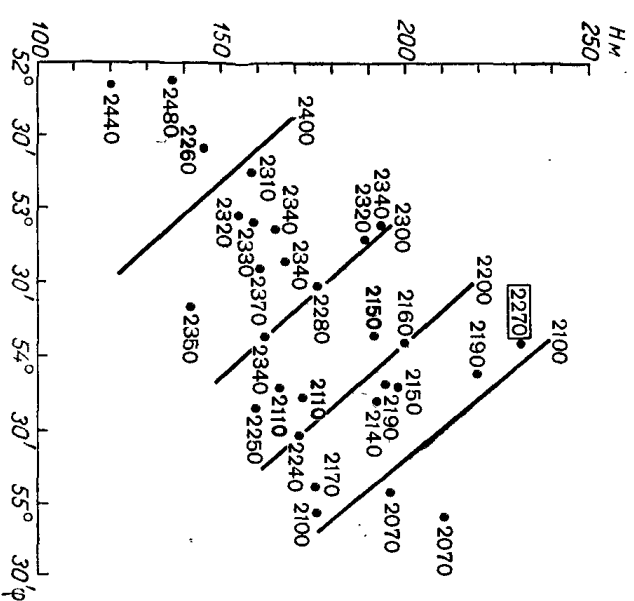


Рис. 18. График для расчета высоты прохождение изотерм на разных широтах для одной области [61].

Усл. обозначения см. рис. 16.

при наличии почвенной карты, на основе которой в пределах области могут быть выделены территории с преобладанием легких почв (пески, супеси, легкие суглинки), средних по механическому составу (суглинистые) и тяжелых, переувлажненных почв (тяжелые суглинки, огленные и торфянистые почвы, осушенные торфяники). Эти типы почвы существенно различаются как по термическому режиму, так и по влажности, что ведет к большим различиям в сроках сева на близких расстояниях и часто требует дифференциации агротехники и удобрений на соседних полях.

Исследуя климат почвы Эстонской ССР, Л. Э. Инт [34] применил для картирования температуры почвы в масштабе 1 : 1 500 000 принцип крупномасштабного микроклиматического картирования. Выделив по почвенной карте площади с тремя указанными выше градиентами почв по их механическому составу, он проанализировал все данные по температуре почвы, опубликованные в новом издании климатологического справочника, дополнив их экспедици-

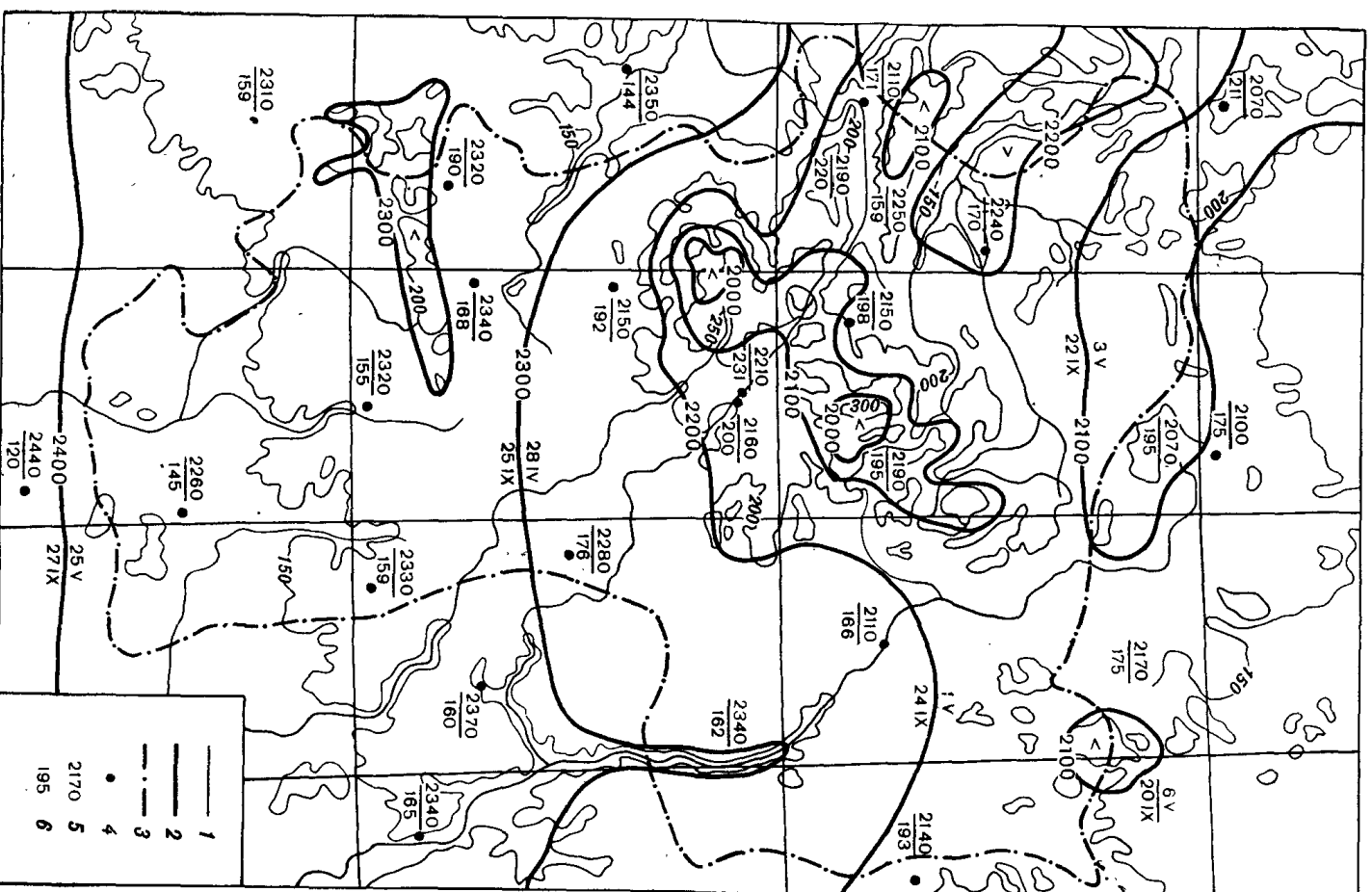


Рис. 17. Пример построения карты сумм температур выше 10° для одной области.

1 — горизонталь, 2 — изотермы сумм температур, 3 — границы области, 4 — метеорологические станции, 5 — сумма температур, 6 — высота над уровнем моря, 28 IV и 25 IX — даты начала и конца периода с температурой выше 10° [61].

онными наблюдениями, и получил количественные характеристики температуры и влажности для каждого типа почвы.

В условиях Эстонии при небольшом протяжении ее по широте природный градиент температур, особенно в начале лета, не проявляется и, согласно наблюдениям, одна и та же температура почвы имеет место на легких почвах как на юге, так и на севере республики. Но в центральной ее части преобладают переувлажнен-

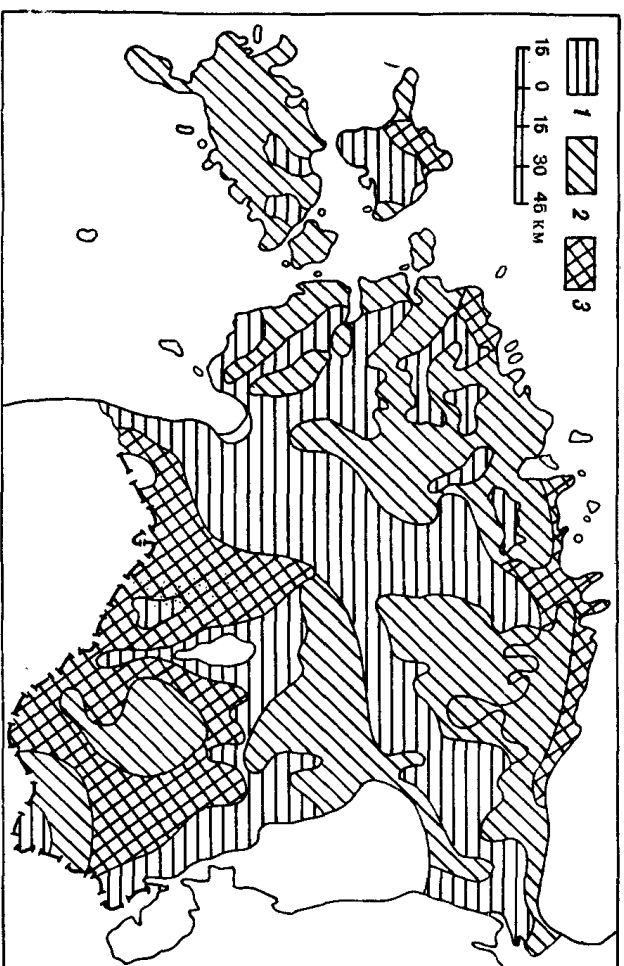


Рис. 19. Средняя месячная температура почвы в мае в Эстонии и сроки начала посадки картофеля на почвах разного типа.

Почвы: 1 — тяжелые суглинистые и торфяные, 2 — супески, 3 — супеси, легкие суглиники, пески. Температура почвы на глубине 10 см в зависимости от типа почв: 1) 8—9,5°, 2) 9—10,5°, 3) 10,5—11,5°. Начало посадки при данном типе почв: 1) 25 мая, 2) 15 мая, 3) 5 мая.

ные холодные торфянистые почвы, прогрев и просыхание которых сильно замедлены. На рис. 19 приведена составленная Интом карта, на которой показано пространственное распределение холодных и переувлажненных минеральных и торфяноболотных почв с суммой температур почвы выше 10° на глубине 10 см, равной 1600° (1), умеренно теплых и часто недостаточно увлажненных тонких и среднетонких суглинистых почв с суммой температур 1900—2000° (2) и теплых, в основном хорошо увлажненных супесчаных и песчаных почв с суммой температур 2100—2300° (3). Сроки начала сева картофеля, определенные с учетом климата почвы, составляют в Эстонии три недели (5—25 мая), причем эти данные действительны не только для указанных на карте больших площадей, но и для территории отдельного хозяйства, в пределах которого могут быть все три типа почвы.

Учет климата почвы дает возможность значительно уточнить агроклиматическое районирование Эстонии, сделанное прежде

с учетом только термического режима воздуха и увлажнения по ГТК. Сумма температур воздуха выше 10° изменяется по территории только в пределах неполных 200°, в то время как та же сумма, определенная по температуре почвы, колеблется, как указано выше, от 1600 до 2300°, что полностью определяет условия возделывания теплолюбивых культур.

Для оценки теплообеспеченности территории, помимо суммы температур, необходимо учесть даты начала и конца периода с температурами выше 10°, напряжение температур (по средней месячной температуре июля), продолжительность безморозного периода и др.

Чтобы избежать составления большого количества карт, строятся графики зависимости одного элемента от другого и на концах изолиний на картах проставляются значения нескольких элементов или даются в экспликации к карте. Например, для суммы температур 2000° средняя температура июля равна 16°.

1.13. Методика построения фоновых карт [26, 69]

Для картирования сильно изменяющихся на небольших расстояниях характеристик климата (заморозков, продолжительности безморозного периода, суточной амплитуды температур, среднего из абсолютных минимумов и др.) применяется методика построения фоновых карт. Составление этих карт требует детального анализа местоположения станций и установления их репрезентативности. При этом изолинии проводятся с учетом данных лишь тех метеорологических станций, которые расположены на равных открытых местах вне влияния узколокальных условий. По этим репрезентативным станциям вычерчиваются обычно мелкомасштабные карты, отражающие влияние на климат основных географических факторов — широты, высоты, расстояния от моря и т. п.

Влияние на эти характеристики подстилающей поверхности, рельефа, типа почвы, близости водоемов и т. п. определяется по наблюдениям соответствующих станций в виде отклонений от основной фоновой характеристики, типизируется и приводится в прилагаемых к картам таблицах. В таких же таблицах и графиках на врезках могут быть даны некоторые дополнительные сведения, уточняющие содержание карт. Эти врезки часто отражают возможное изменение средних величин по отдельным годам в виде вероятностей или обеспеченности явлений.

1.14. Построение крупномасштабных микроклиматических карт [26, 64, 65]

Микроклимат — это климат небольшой территории, возникающий под воздействием подстилающей поверхности (климат поля, поляны, осушенного болота, хозяйства, города). Крупномасштабные микроклиматические карты составляются для отдельных небольших площадей в рабочем масштабе 1 : 10 000—1 : 25 000.

Основой для микроклиматического картирования, расчета и уточнения поправок являются морфометрические характеристики рельефа, т. е. количественные показатели рельефа. Наиболее распространены морфометрическими характеристиками являются:

1) глубина расчленения рельефа — расстояние по вертикали между двумя денудационными уровнями (относительное превышение);

2) частота расчленения — расстояние по горизонтали между этими уровнями;

3) углы наклона местности;

4) экспозиция склонов.

Методика морфометрической оценки рельефа разработана геоморфологами [50, 68, 92, 93, 110] и успешно применяется микроклиматологами для составления микроклиматических карт [65 и др.].

Для составления микроклиматических карт в большинстве случаев необходимы дополнительные кратковременные микроклиматизируемой территории, обязательно личное знакомство автора с изучаемым районом, тщательный учет всех физико-географических особенностей территории, наличие хорошей топографической основы. Для правильной количественной оценки микроклиматических различий надо знать макроклиматические значения картируемого элемента в исследуемом районе и соответствующие микроклиматические поправки к ним.

На крупномасштабных микроклиматических картах все особенности климата, определяемые влиянием подстилающей поверхности, рельефа, близости водоемов и т. п., показываются непосредственно на карте, причем оценка элементов дается по площадям в развернутой экспликации к карте. В ней характеристики могут быть представлены либо в абсолютных значениях, определенных по макроклиматическим картам с соответствующими поправками, либо в виде относительных величин по сравнению с какой-то частью изучаемой территории, например по отношению к самой нижней, наиболее холодной и влажной части земель совхоза, расположенных в долине реки.

В настоящее время для колхозов и совхозов возможно построение микроклиматических карт с оценкой радиационного режима на склонах разной экспозиции, термического режима (заморозков, разных видов минимальных температур, температур дня и особенно ночи), суточной амплитуды (температуры и др.), ветрового режима (преимущественно скорости ветра на разных участках), влажности почвы. Для характеристики микроклимата хозяйства составляется микроклиматическая карта с учетом комплекса всех указанных факторов.

Ниже рассматривается конкретный пример построения карты.

а. Карта морозоопасности. Для построения карты морозоопасности используются литературные источники, а также специальные наблюдения. Основной задачей при организации этих наблюдений является правильный выбор точек наблюдений на территории изучаемого хозяйства. Обычно выбор точек целесообразен

после проведения глазомерной съемки особенностей микроклимата, которые можно «видеть» по характеру растительности, рельефу местности и другим косвенным показателям. Кроме того, оценивается экспозиция и крутизна склонов, превышение возвышенностей над наиболее низкими местами, ширина долины, степень замкнутости и извилистости долины, облесенность склонов, открытость местности к холодным ветрам, пути стока холодного воздуха ночью и др.

Сведения глазомерной съемки сопоставляются с крупномасштабной гипсометрической картой. Затем с использованием имеющихся таблиц микроклиматических поправок по литературным источникам предварительно составляется микроклиматическая карта, по которой без особого труда выбираются точки для проведения микроклиматической инструментальной съемки. Этой съемкой должны быть охвачены все характерные точки рельефа. Точки для проведения работ по оценке морозоопасности и для учета режима ветра должны совпадать, и их количество определяется разнообразием микроклиматических условий.

В пересеченной местности выбираются точки на дне долины, на склонах и на вершине возвышенности, а также по возможности на ровном открытом месте. В тех случаях, когда холмы хорошо выражены, приборы устанавливаются на вершине, на двух склонах и на прилегающей низменности. Для наблюдения выбираются наиболее сенные склоны. Если же на склонах имеются участки леса, то дополнительно для выявления морозобойной зоны выбираются точки в местах подпора лесом холодного воздуха. При наличии большого водоема (озера, широкой реки) для выявления его отепляющего влияния точки устанавливаются на берегу и на участках, различно удаленных от уреза воды (100, 200 м), — у подножия коренного берега, на бровке долины.

Для получения количественных показателей морозоопасности местности на выбранных точках в осенний и весенний периоды снимаются показания минимальных термометров.

Распределение температуры ночью в холмистом рельефе тесно связано с условиями подтока и стока холодного воздуха, т. е. с ночным режимом ветра. Поэтому при оценке морозоопасности территории совместно с термометрической съемкой нужно вести наблюдения за ветром.

Карта морозоопасности строится путем картирования разности минимальных температур, полученных из термометрических съемок (по минимальным термометрам или психрометрам). Берутся средние разности температур между точками наблюдений и опорной точкой, полученные в ясные тихие ночи после холодной адвекции. Падение температуры ниже 0° обязательно. Это будут средние из наибольших разностей температур за весь период наблюдений.

Данные соответственно положению каждой точки наносятся на план хозяйства с горизонталями, проведенными через 5—10 м высоты. На плане хозяйства по данным анемосъемок склоновых ветров указываются стрелками пути стока и подтока холодного

воздуха, отмечаются очаги скопления холодного воздуха, т. е. оконтуриваются морозобойные места. Фрагмент такого плана представлен на рис. 20.

Наличие на плане хозяйства контуров полей севоборота, садов, лесов, лугов, рек, ручьев и т. п. значительно облегчает вычерчивание и уточняет карту.

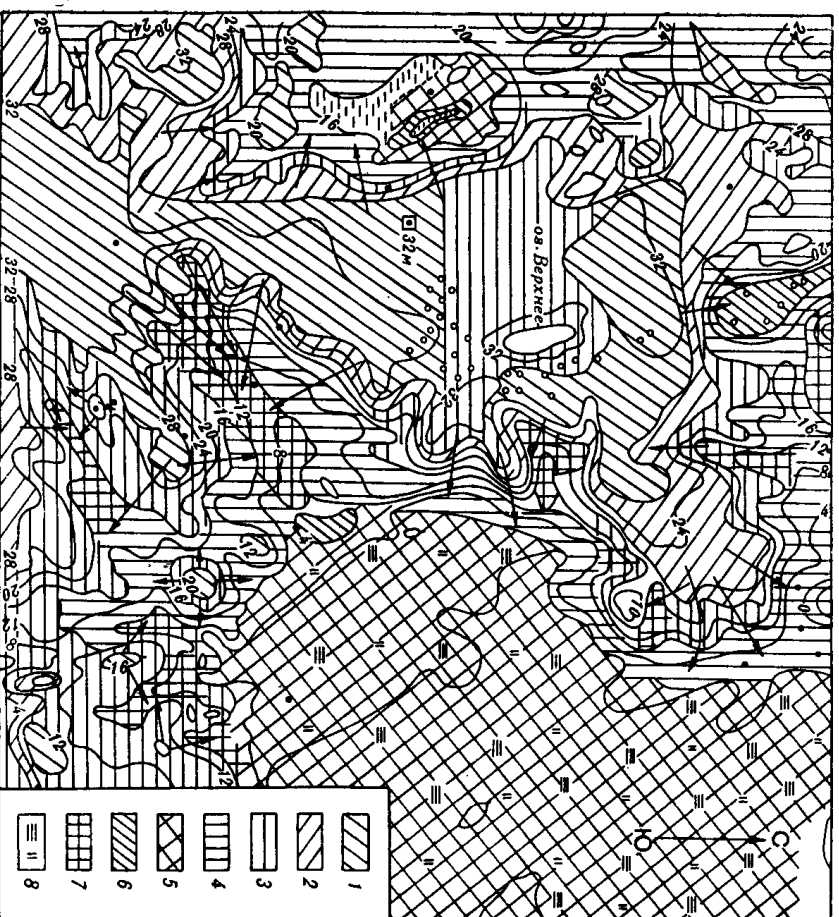


Рис. 20. Схема путей стока и подтока холодного воздуха.
1 — сток холодного воздуха (ХВ) хороший, приток нет, 2 — сток ХВ хороший, приток небольшой, 3 — сток ХВ равен притоку ХВ, 4 — сток ХВ слабый, приток ХВ сильный, 5 — сток ХВ нет, приток есть (озеро холода), 6 — застой полный (озеро холода), 7 — концентрированные пути стока ХВ, 8 — низкие заболоченные участки с кустарником.

На основании нанесенных на эту карту разностей минимальных температур производятся количественная оценка морозоопасности отдельных участков в градусах с интервалом через 1°.

Конфигурация отдельных площадей определяется с учетом рельефа и растительности, путей стока и застоя холодного воздуха (рис. 21).

6. Карта прямой солнечной радиации. Количество прямой солнечной радиации, поступающей на склоны в ясные дни, может быть рассчитано достаточно точно. Т. А. Голубовой [65] вы-

числены коэффициенты для пересчета радиации на склон крутизной 10 и 20° в зависимости от широты. Коэффициенты можно рассчитать и на основании теоретических формул.

Для вычисления действительных средних суточных сумм радиации на склоны достаточно иметь фактические данные по суточным суммам радиации на горизонтальную поверхность.

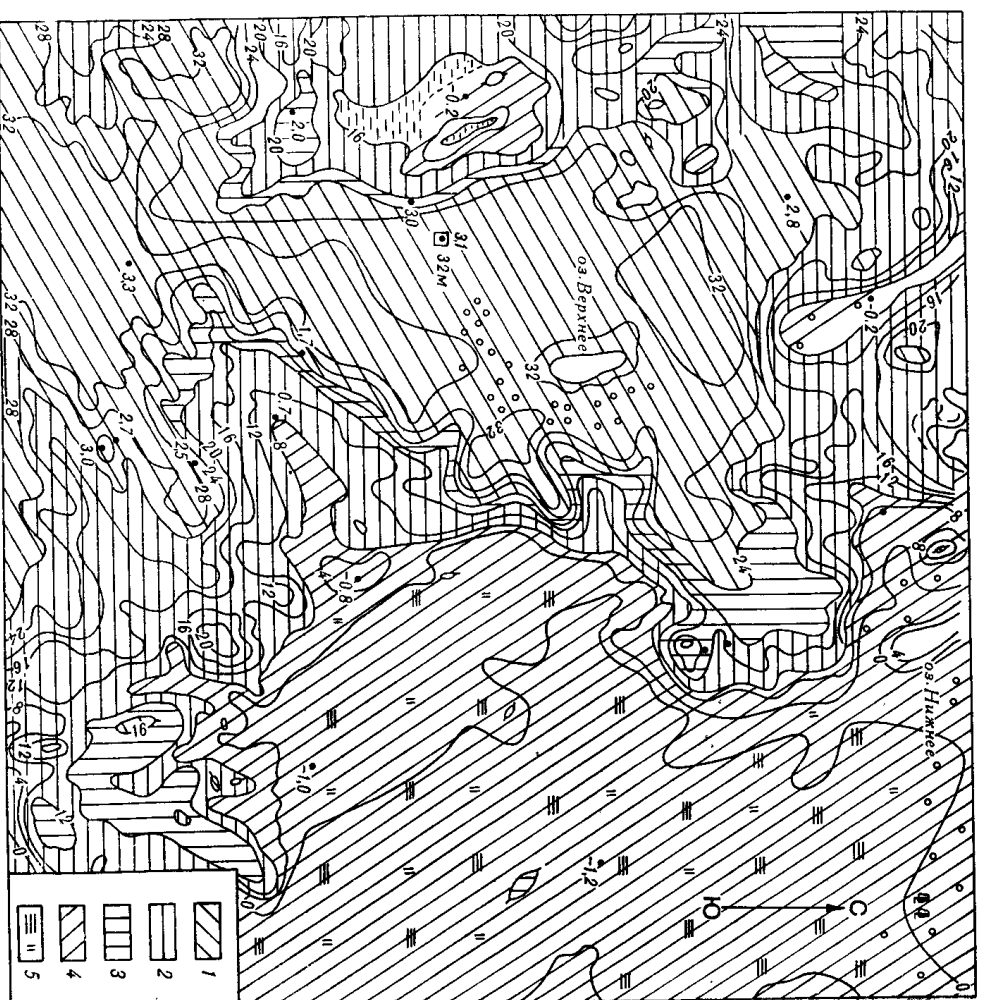


Рис. 21. Фрагмент микроклиматической карты морозоопасности.

1 — самые теплые участки, не морозоопасные ($\Delta t > 2,5^\circ$), 2 — теплые, не морозоопасные ($\Delta t = 2,5 \div 1,6^\circ$), 3 — умеренно теплые, средняя морозоопасность ($\Delta t = 1,5 \div 0,6$), 4 — прохладные, морозоопасные ($\Delta t = 0,5$ и ниже), 5 — низкие заболоченные участки с кустарником.

Изменения радиации полностью определяются крутизной склона и его ориентировкой к солнцу. Поэтому для построения карты изменения прямой радиации необходимо составить схему распределения склонов по экспозициям и схему углов наклона местности. Совмещая схемы и используя данные средних суточных сумм

радиации на горизонтальную поверхность, а также коэффициент, получают количественную оценку изменения прихода солнечной радиации в зависимости от местоположения в процентах от радиации на ровном месте и составляют обобщенную схему.

В. Карта изменения скорости ветра. Для построения схем коэффициентов изменения скорости ветра (при скоростях более 3 м/сек.) нужно совместить схему распределения склонов по экспозициям и схему углов наклона местности. Все склоны по высоте должны быть разделены на три части (верхнюю, среднюю, нижнюю) и, согласно коэффициентам изменения скорости ветра K , полученным на основании данных анемометрических съемок или литературных источников, выделены зоны: 1) усиления ветра, 2) нормальных скоростей и 3) ослабления ветра.

Для основных румбов ветра (север, восток, юг, запад) составляются четыре карты. На карте выделяются участки с повышенными скоростями ветра на открытых наветренных склонах при $K > 1,0$ и участки с резко сниженными скоростями при $K \leq 0,6$. Территория между двумя участками с крайними значениями характеризуется нормальной ($K = 1,0$) или несколько ослабленной скоростью ветра ($K = 0,9 \div 0,7$).

Микроклиматическая карта хозяйства получается путем наложения отдельных картированных характеристик микроклимата друг на друга.

В табл. 18 представлена характеристика комплексной карты.

Таблица 18

Характеристика микроклиматической карты

Оценки участков	Отклонение радиации, в % от ровного места	Превышение температур в малоблагодатные		Коэффициент изменения скорости ветра при преобладающем направлении (СЗ) к ровному месту	Влажность почвы, в % от нормальной влажности почвы	Отклонение длительности безморозного периода на каждом участке от ровного места
		дней	ночи			
Самые теплые, сухие	5-7	2-2,5	1,0-1,5	0,9-0,7	30-40	10-20
Теплые, сухие	0	0,5-1,0	1,5-2,0	1,3-1,4	40-50	5-1
Умеренно теплые, достаточно увлажненные	0	0-0,5	1,5-1,0	0,9-0,7	60-70	0-0,5
Прохлада, достаточное увлажнение	-8, -10	0-0,5	0	1,2-1,3	60-70	5-15
Холодные, влажные	2, -4	0	-1, -2	0,9-1,1	70-80	-5, -10
Морозобоины изобильно увлажненные	0, -0,6	0, -0,5	-2,5, -3,0	1,0	80	-10, -20

В качестве показателя обеспеченности вегетационного периода влагой в агроклиматических исследованиях используются осадки и различные показатели увлажненности.

2.1. Использование средних многолетних данных по осадкам и их расчеты

Количество выпадающих осадков, выражаемое в миллиметрах слоя воды, является наиболее широко используемым показателем обеспеченности влагой. Обычно количество осадков оценивается в средних многолетних суммах. Среднее многолетнее количество осадков дает представление о том, что сумма осадков больше или меньше данной величины на данном месте имеет обеспеченность около 50 %.

В агроклиматических исследованиях используются данные об осадках, обработанные климатологами в соответствии с методами климатологической обработки. В агроклиматических расчетах чаще всего применяются месячные и декадные количества осадков. Для получения декадных количеств осадков Е. С. Рубинштейн предложила использовать тот же метод гистограмм, который был разработан А. А. Шенгелевским для температуры воздуха [63]. Этот метод несколько улучшает результаты по сравнению с непосредственно подсчитанными декадными количествами осадков.

2.2. Точность интерполяции, экстраполяции и осреднения сумм осадков по площади

Количество осадков чрезвычайно изменчиво в пространстве, что необходимо учитывать при агроклиматической обработке данных по осадкам. В последние годы проведены значительные исследования закономерностей пространственной изменчивости осадков [17, 28, 29, 88, 89, 90].

Оценки сумм осадков при их интерполяции, экстраполяции и осреднения по площади возможна с помощью корреляционных функций. О. Д. Сиротенко [90] по данным за 15 лет для шести географических районов, расположенных на ЕТС, рассчитал пространственные корреляционные функции декадных сумм осадков за теплый период. Обобщение этих материалов с учетом особенностей циркуляционных механизмов, обуславливающих выпадение осадков в летний период на ЕТС, позволило построить номограмму семейства корреляционных функций для этой территории.

Ошибки экстраполяции для декадных сумм осадков находят следующим образом. Для данного значения расстояния r км и широты пункта φ град. находят значение корреляционной функции

$r(\rho)$ по номограмме (рис. 22). Затем определяют среднюю квадратическую ошибку экстраполяции E по формуле

$$E = \sigma \sqrt{1 - [r(\rho)]^2}, \quad (9)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение точечных значений осадков в данном пункте. Рассчитывают σ по материалам каждой

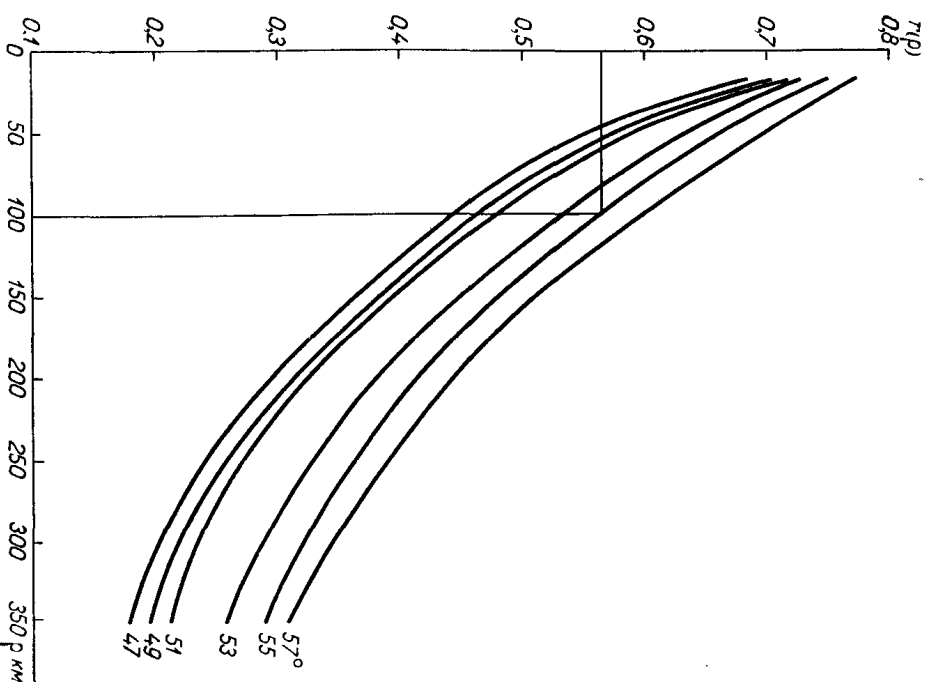


Рис. 22. Номограмма для решения задач, связанных с интерполяцией, экстраполяцией и осреднением декадных сумм осадков (для сельскохозяйственных районов ЕТС, расположенных от 47 до 57° с. ш.) (по О. Д. Сиротенко [90]).

конкретной станции для данного месяца за период 25—30 лет по общезвестной формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (10)$$

Пример расчета ошибки экстраполяции. Широта φ пункта A равна 55° с., $\sigma = 20$ мм, среднее значение осадков для декады f равно 24 мм. Необходимо найти среднюю квадратическую ошибку экстраполяции декадных сумм осадков на 100 км. По номограмме (рис. 22) от точки оси абсцисс 100 км проводим прямую до пересечения с кривой φ , равной 55° с. ш. На оси ординат соответственно получаем значение корреляционной функции $r(100)$, равное 0,56. Затем по формуле (9) получаем ошибку

$$E = 20 \sqrt{1 - 0,56^2} = 16,5 \text{ мм},$$

или в процентах от среднего значения

$$\frac{E}{f} = \frac{16,5 \cdot 100\%}{20} = 82\%.$$

Пример расчета ошибки интерполяции сумм осадков. Необходимо оценить сумму осадков в пункте a , если известны осадки в пунктах b и c . Расстояние ρ от пункта a до пунктов b и c равно 50 км, а между пунктами b и c — 100 км, $\varphi = 53^\circ$ с. ш., $\sigma = 20$ мм. По номограмме (рис. 22) получаем значение корреляционной функции $r(\rho)$ для расстояний 50 и 100 км и определяем коэффициент множественной корреляции по формуле [104]

$$R = \sqrt{\frac{r_{zx}^2 + r_{zy}^2 - 2r_{zx}r_{zy}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}},$$

где r_{zx} , r_{zy} , r_{xy} — частные коэффициенты парной корреляции;

$$R = \sqrt{\frac{0,632 + 0,632 - 2 \cdot 0,63 \cdot 0,63 \cdot 0,56}{1 - 0,56^2}} = 0,713;$$

затем по формуле, аналогичной (9), определяем ошибку интерполяции E

$$E = 20 \sqrt{1 - (0,713)^2} = 14,0 \text{ мм}.$$

Пример расчета ошибки при осреднении точечных данных по площади. Для решения задачи, связанных с осреднением осадков по площади, используется номограмма типа приведенной на рис. 23, заимствованной из работы [89].

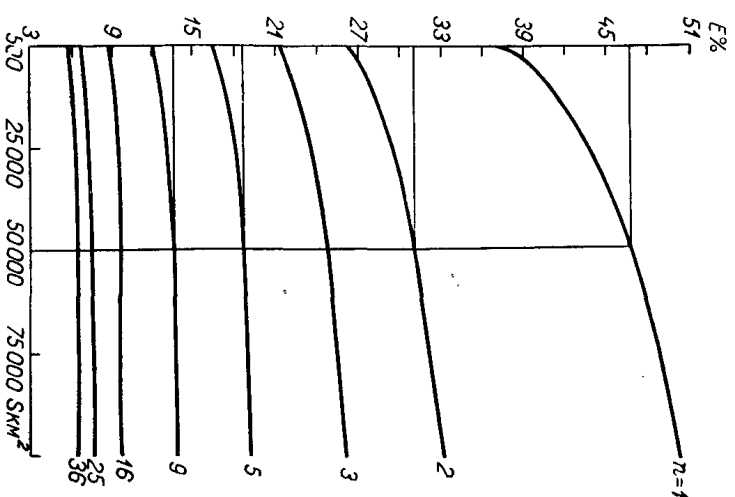


Рис. 23. Средняя квадратическая погрешность E определения среднего декадных сумм осадков по площади S по данным n станций (по О. Д. Сиротенко [89]).

Пример. Площадь области S равна 50 000 км². С какой точностью будет определяться средняя сумма осадков за декаду по этой территории при расчетах по данным одной, двух, пяти и девяти станций? По графику (рис. 23) снимаем ошибку E % соответственно для станций n : $n = 1 - 46\%$, $n = 2 - 31\%$, $n = 5 - 18,5\%$, $n = 9 - 13\%$.

Может быть решена и обратная задача: сколько нужно станций, чтобы ошибка не превышала, предположим, 10%? От оси ординат (10%) проводим прямую до пересечения ее с прямой от оси абсцисс, равной 50 000 км², и интерполицией между кривыми $n = 9$ и $n = 16$ находим по рис. 23, что необходимо 13 станций.

Номограмма средней квадратической погрешности E (рис. 23) построена на основании корреляционных функций, аппроксимированных экспонентой с параметрами $r(p) = 0,817$, $b_0 = 324$ км для центрального нечерноземного района. Для других районов необходимо построить подобную номограмму или часть ее по формуле Р. Д. Кагана, как это сделано в работе О. Д. Сиротенко [89], однако это требует специальных сложных расчетов.

2.3. Построение интегральных кривых и номограмм обеспеченности осадков

Количество осадков изменчиво во времени, поэтому при агро-климатической оценке увлажнения территории необходимо знать обеспеченность данного места количеством осадков выше или ниже любой величины. Эти сведения могут быть получены на основании средней многолетней суммы осадков за какой-либо период с использованием номограммы.

Методика построения кривых обеспеченности излагается в работе [63].

Кривые распределения характеризуются тремя параметрами: средним значением признака x_0 , коэффициентом вариации или изменчивости C_v и коэффициентом асимметрии C_s , которые полностью определяют вид кривой в каждом отдельном случае и весьма хорошо характеризуют изменчивость ряда. Вычисление этих характеристик производится по общепринятой форме.

Для большей наглядности приведем данные обработки по осадкам, выполненные для станции N . Имеющийся эмпирический материал наблюдений располагается сначала в хронологическом, а затем в убывающем (или возрастающем) порядке (табл. 19). Вначале вычисляется среднее арифметическое значение ряда, затем значения коэффициента K , который получается как отношение каждого члена ряда к средней величине ($K_i = x_i/x_0$). Правильность вычисления этих величин проверяется путем суммирования K , где $\sum K = n$, т. е. числу членов в ряду. Далее находятся значения $(K-1)$, $(K-1)^2$, $(K-1)^3$ и, наконец, процентное значение обеспеченности P . Очевидно, что $\sum (K-1)$ должна быть равна нулю.

Таблица 19
Расчет обеспеченности осадков на станции N . Июль (1891—1950 гг.)

№	Распределение сумм осадков		$K \left(K_i = \frac{x_i}{x_0} \right)$	$K-1$	$(K-1)^2$	$(K-1)^3$	P %
	по годам в хронологическом порядке	в убывающем порядке по годам					
1	1891	1950	4,91	3,91	15,2881	59,7765	1,64
2	1892	1932	2,41	1,41	1,9881	2,8032	3,28
3	1893	1894	2,09	1,09	1,1881	1,2950	4,9
4	1894	1922	1,93	0,98	0,8649	0,8044	6,6
5	1895	1902	1,91	0,91	0,8281	0,7536	8,2
6	1896	1928	1,77	0,77	0,5929	0,4565	9,8
7	1897	1915	1,70	0,70	0,4900	0,3430	11,5
8	1898	1899	1,68	0,68	0,4624	0,3144	13,1
9	1899	1910	1,63	0,63	0,3969	0,2500	14,8
10	1900	1934	1,60	0,60	0,3600	0,2160	16,4
11	1901	1927	1,45	0,45	0,2025	0,0911	18,0
12	1902	1947	1,45	0,45	0,2025	0,0911	19,7
13	1903	1898	1,32	0,32	0,1024	0,0333	21,3
14	1904	1903	1,34	0,34	0,1156	0,0393	23,0
15	1905	1913	1,29	0,29	0,0841	0,0244	24,6
16	1906	1914	1,20	0,20	0,0400	0,0080	26,2
17	1907	1948	1,17	0,17	0,0289	0,0049	27,9
18	1908	1895	1,13	0,13	0,0169	0,0022	29,5
19	1909	1930	1,10	0,10	0,0100	0,0010	31,2
20	1910	1905	1,09	0,09	0,0081	0,0007	33,8
21	1911	1935	1,00	0,00	0,0001	0,0000	34,4
22	1912	1942	1,09	0,09	0,0081	0,0007	36,1
23	1913	1917	1,04	0,04	0,0016	0,0001	37,7
24	1914	1946	0,97	0,03	0,0009	0,0000	39,3
25	1915	1911	0,96	0,04	0,0016	0,0001	41,0
26	1916	1897	0,94	0,06	0,0036	0,0002	42,6
27	1917	1896	0,93	0,07	0,0049	0,0003	44,3
28	1918	1939	0,89	0,11	0,0121	0,0013	45,9
29	1919	1912	0,88	0,12	0,0144	0,0017	47,5
30	1920	1906	0,87	0,13	0,0169	0,0022	49,2
31	1921	1933	0,84	0,16	0,0256	0,0041	50,8
32	1922	1937	0,83	0,17	0,0289	0,0049	52,5
33	1923	1900	0,81	0,19	0,0361	0,0068	54,1
34	1924	1904	0,81	0,19	0,0361	0,0068	55,7
35	1925	1920	0,74	0,23	0,0576	0,0176	57,4
36	1926	1924	0,74	0,26	0,0676	0,0176	59,0
37	1927	1926	0,73	0,27	0,0729	0,0197	60,7
38	1928	1945	0,71	0,29	0,0841	0,0244	62,8
39	1929	1892	0,68	0,32	0,1024	0,0328	65,6
40	1930	1923	0,64	0,36	0,1296	0,0506	67,2
41	1931	1893	0,63	0,37	0,1369	0,0506	68,8
42	1932	1943	0,63	0,37	0,1369	0,0506	70,5
43	1933	1891	0,62	0,38	0,1444	0,0549	72,1
44	1934	1918	0,58	0,42	0,1764	0,0741	73,8
45	1935	1921	0,56	0,44	0,1936	0,0852	75,4
46	1936	1909	0,54	0,46	0,2116	0,0973	77,0
47	1937	1941	0,54	0,46	0,2116	0,0973	77,0

№ п. Сред- нее	Распределение сумм осадков			$K \left(K_t = \frac{x_t}{\bar{x}} \right)$	$K-1$	$(K-1)^2$	$(K-1)^3$	P %
	по годам в хроно- логическом порядке	по годам в убывающем порядке по годам	по годам в хроно- логическом порядке					
48	1938	44	1944	0,53	-0,47	0,2209	-0,1038	78,7
49	1939	82	1940	0,47	-0,53	0,2809	-0,1489	80,3
50	1940	44	1929	0,47	-0,53	0,2809	-0,1489	82,0
51	1941	50	1938	0,47	-0,53	0,2809	-0,1489	83,6
52	1942	100	1936	0,41	-0,59	0,3481	-0,2054	85,2
53	1943	58	1916	0,37	-0,63	0,3969	-0,2500	86,9
54	1944	49	1901	0,33	-0,67	0,4489	-0,3008	88,5
55	1945	65	1908	0,32	-0,68	0,5624	-0,3144	90,5
56	1946	89	1919	0,26	-0,74	0,5476	-0,4052	91,8
57	1947	132	1949	0,25	-0,75	0,5625	-0,4219	93,4
58	1948	106	1925	0,23	-0,77	0,5929	-0,4565	95,1
59	1949	23	1907	0,19	-0,81	0,6561	-0,5314	96,72
60	1950	446	1931	0,13	-0,87	0,7569	-0,6585	98,35
Σ		5484		60,00	0,00	31,1234	62,5646	
n		60						
Сред- нее		91						

$$C_v=0,73; C_s=2,73$$

Примечание. Коэффициент асимметрии вычисляется только для рядов, имеющих период наблюдений более 50 лет.

Значения $\Sigma(K-1)^2$ используются для вычисления коэффициента изменчивости или вариации по формуле

$$C_v = \sqrt{\frac{(K-1)^2}{n}}$$

а $\Sigma(K-1)^3$ — для характеристики степени асимметрии ряда $C_s = \frac{\Sigma(K-1)^3}{nC_v^3}$. В тех случаях, когда $C_s = 0$, кривая распределения

будет асимметричной.

Процентная обеспеченность P вычисляется по формуле

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \quad (11)$$

где n — число членов всего ряда, m — место данного члена в ряду, расположенном в убывающем порядке, P — процентная обеспеченность.

Приведенная выше формула применима только для рядов, состоящих из не менее 20—25 лет наблюдений.

На основании полученных расчетов (табл. 19) строится эмпирическая кривая. На оси ординат откладываются значения коэффициентов K , а на оси абсцисс — значения процентной обеспеченности P (рис. 24). Затем по имеющимся на графике точкам проводится плавная кривая и с нее по коэффициенту K снимаются значения осадков различной обеспеченности. Значения, снятые с кривой распределения, могут быть представлены в виде табл. 20.

На основании интегральных кривых и средних многолетних сумм осадков по данным ряда станций строится номограмма для расчета сумм осадков различной обеспеченности (по месяцам, за вегетационный период и т. д.). Номограмма строится общепринятым методом. С интегральной кривой по заданной обеспеченности снимаются коэффициенты K и по ним находится возможная сумма осадков. Принцип построения расчетных графиков-номограмм следующий. На оси абсцисс откладываются возможные значения осадков (за любой период), а по оси ординат — многолетние средние значения осадков (норма). Сначала для всех станций соответственно их нормам на график наносятся значения обеспеченностей 5%, затем 10, 20% и т. д. и через них проводятся линии (рис. 25).

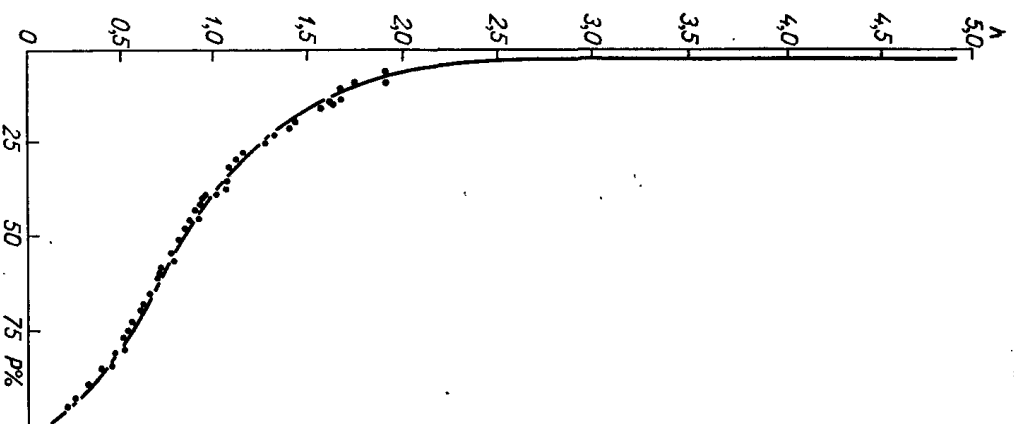


Рис. 24. Интегральная кривая распределения осадков.

Таблица 20
Суммы осадков (мм) определенной обеспеченности на станции N. Июль

Месяц	Норма, мм	Обеспеченность, %									
		<5	5	10	20	25	50	70	75	80	95
Июль	91	447	190	160	130	115	76	56	50	44	29
											21

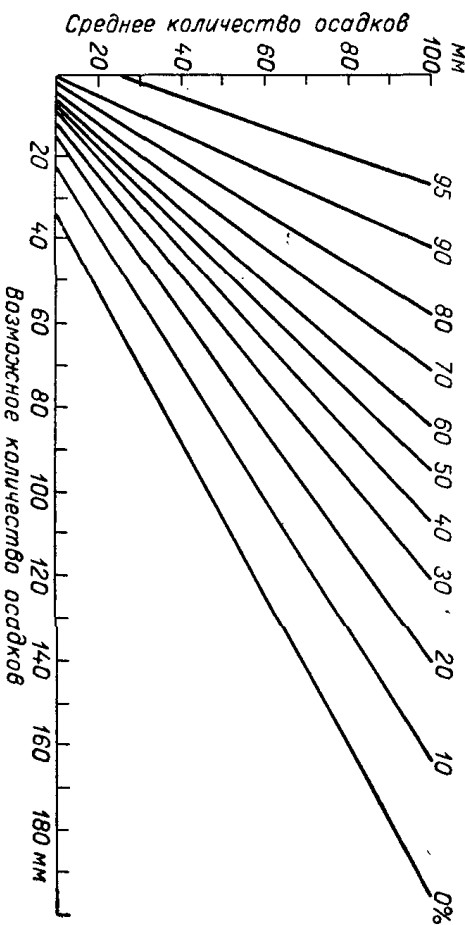


Рис. 25. Номограмма для расчета месячных сумм осадков различной обеспеченности в северных областях в летние месяцы.

2.4. Картирование осадков [33, 45, 46, 61]

Трудности детального картирования осадков определяются главным образом недостаточной точностью их измерения, большой изменчивостью во времени и пространстве, а также ограниченным материалом экспедиционных наблюдений. Степень возможной детализации карт осадков — шкала изолиний, выделение деталей определенного масштаба в поле распределения осадков — в значительной мере определяется точностью измерения осадков и рачета их средних величин.

Для обеспечения случайного проведения изолиний необходимо, чтобы интервал между ними по крайней мере в два раза превышал среднюю ошибку нормы. Поскольку абсолютная ошибка возрастает по мере увеличения количества осадков, интервалы между изолиниями также должны меняться. Поэтому в СССР широко применяется предложенная О. А. Дроздовым комбинация геометрической и равномерной шкал, при которой каждый интервал геометрической шкалы делится на несколько равных частей. Шкала имеет следующий вид (мм): 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 700, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, и т. д. Основные изолинии выделены более жирным шрифтом.

Рельеф вызывает наиболее резкие изменения в количестве осадков — до десятков, а иногда и сотен процентов их величины. Его влияние на осадки значительно больше ошибок измерения и потому может быть определено достаточно надежно. Влияние рельефа проявляется в увеличении осадков с высотой по склону и на равнине (явление «предвосхождения»), в резком уменьшении осадков в закрытых от влагонесущих ветров долинах и на подветренной равнине (явление «дождевой тени»).

Исследование данных густой сети станций в условиях изрезанного рельефа позволило выделить на карте детали в поле осадков, обусловленные элементами рельефа высотой 50 м и шириной в несколько километров. Техника составления карт количества осадков (изолиет) принципиально не отличается от техники составления карт изотерм. После нанесения данных станций и построения топографическую карту проводится их анализ, выясняются особенности местоположения станций. Для выровненной территории при небольших разностях относительных высот изолиеты выделяются без специальных расчетов, но с учетом физико-географических особенностей территории. Для горной территории определяются плевометрические градиенты также с учетом особенностей отдельных склонов и по возможности дифференциацией градиентов по отдельным высотным горизонтам.

Существенным отличием распределения количества осадков от характеристик термического режима является меньшая зависимость их от высоты над уровнем моря и очень тесная связь с общей циркуляцией атмосферы, с особенностями ориентировки основных возвышенностей по отношению к несущим влагу ветрам. Большая «пятнистость» осадков даже в условиях холмистого рельефа обычно связана с наличием подветренных и наветренных для влагонесущих ветров склонов. При составлении карт надо обращать внимание на все эти факторы и по возможности выявить причины, вызывающие те или иные особенности в распределении количества осадков.

В горах часто оказывается недостаточно данных сети станций по осадкам и сами данные не всегда надежны. Здесь, кроме плевометрических градиентов, используются дополнительные сведения: данные по стоку, радиационному балансу, растительному покрову, высоте снеговой линии; по возможности оценивается величина горизонтальных осадков.

Влияние леса на увеличение выпадающих летних осадков оценивается в 5—15% суммы осадков на открытом месте. Такой же эффект вызывают и большие города. Уменьшение осадков над гладкой поверхностью водоемов зависит от размеров последних. Над большими водоемами (тысячи, десятки тысяч км²) уменьшение осадков можно оценить в 10—20% годовой суммы осадков над сушей; над водоемами в 100 км² оно менее 10%.

Закономерности в распределении среднего количества осадков, определяемые подстилающей поверхностью, в общем сохраняются и в распределении по территории других характеристик осадков: сумм осадков определенной вероятности, числа дней с осадками, продолжительности, интенсивности осадков, суточного максимума осадков. Однако имеются и некоторые особенности. Например, интенсивность осадков возрастает преимущественно в нижних частях склонов, здесь же возрастает и число дней с крупными осадками, тогда как вблизи вершин общее число дней с осадками растёт за счет мелких осадков и т. д.

2.5. Расчет различных показателей увлажненности

Оценка условий увлажнения вегетационного периода по количеству выпадающих осадков не может быть достаточной для познания агроклиматических ресурсов территории, так как при этом не учитывается испаряемость. Известно, что при одном и том же количестве осадков, но при разных условиях испаряемости увлажнение районов будет разным. Например, на Кольском полуострове и в Узбекистане за год выпадает 350 мм осадков, а испаряемость составляет соответственно 300 и 1200 мм. В результате на Кольском полуострове избыток влаги, а в Узбекистане требуется орошение сельскохозяйственных культур.

Для климатологической оценки степени увлажнения различных районов разработаны формулы, основанные на предположении, что обеспеченность данного места влагой находится в прямой зависимости от количества осадков и в обратной зависимости от испаряемости.

Показатели П. И. Колоскова.

«Мера сырости» — условная величина, полученная путем деления годового количества осадков на сумму температур вегетационного периода. Позднее им была предложена формула

$$W = K \frac{H}{E - e}, \quad (12)$$

где W — увлажненность почвы, H — количество осадков, $E - e$ — недостаток упругости пара и K — коэффициент пропорциональности.

Группой Колоскова установлен показатель увлажненности, рассчитываемый по формуле

$$W = \frac{H}{E - e} \quad (13)$$

— отношение суммы осадков H к сумме среднемесячных величин дефицита влажности воздуха $E - e$ за период вегетации и предшествующий вневегетационный период (с даты перехода температуры через 5° осенью до даты сева весной).

Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК).

ГТК представляет собой отношение осадков за период с температурой выше 10° к сумме температур ($t > 10^\circ$), уменьшенной в 10 раз.

Гидротермический коэффициент может быть рассчитан за любой отрезок времени (месяц, сезон и т. д.), поэтому в общем виде ГТК рассчитывается по формуле

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{\sum_{t > 10^\circ} t} \cdot 10, \quad (14)$$

где $\sum P$ — сумма осадков за определенный период, $\sum_{t > 10^\circ} t$ — сумма температур за тот же период, уменьшенная в 10 раз (условно характеризует возможные условия испаряемости).

ГТК Селянинова, равный 1,0, соответствует условиям лесостепи, 0,7 — граница неустойчивого земледелия, 0,5 — граница полупустыни, 0,3 — пустыня.

Формула получила наибольшее распространение, так как для ее расчета имеются необходимые данные в любом климатическом справочнике.

Коэффициент увлажненности по Н. Н. Ивановой:

$$K = R/E, \quad (15)$$

где R — количество осадков за вегетационный период или год, E — приближенная испаряемость с водной поверхности, рассчитанная по формуле

$$E = 0,018 [25 + T(100 - a)], \quad (16)$$

здесь T — средняя месячная температура воздуха, a — средняя месячная относительная влажность воздуха в процентах.

Показатель атмосферного увлажнения Д. И. Шапко:

$$Md = \frac{R}{E - e} \quad (17)$$

— отношение суммы осадков за год или вегетационный период R к дефициту влажности воздуха $E - e$ за тот же период. $Md > 0,60$ — избыточное увлажнение, $Md = 0,60 \div 0,45$ — хорошее увлажнение, $Md = 0,25 \div 0,15$ — засушливые условия.

Радиационный индекс сухости М. И. Будыко:

$$\frac{R}{Lr}, \quad (18)$$

где R — радиационный баланс, L — скрытая теплота испарения и r — годовое количество осадков.

Применение этого индекса затрудняется тем, что многостлетними данными по радиационному балансу располагает очень ограниченное число метеорологических станций. Однако Будыко показал, что существует хорошая связь между средними многолетними суммами температур выше 10° и годовыми значениями радиационного баланса. Автор полагает, что годичную испаряемость можно приближенно определять по формуле

$$E_0 = c \sum \theta, \quad (19)$$

где E_0 — испаряемость в мм/год, $\sum \theta$ — сумма температур выше 10°, c — коэффициент, равный 0,18.

В таком случае показатель увлажненности за год выразится формулой

$$\frac{r}{0,18 \sum \theta}, \quad (20)$$

где r — осадки за год в миллиметрах.

А. П. Федосеев [105] предложил рассчитывать показатели увлажненности (для условий Казахстана применительно к пастбищ-

ной растительности) не за всю теплую часть года, а за определенные для различных природных зон периоды времени. Продолжительность периода должна определяться либо временем иссушения почвы до определенного предела, либо периодом интенсивного роста растений, обеспеченного теплом и влагой,

$$M = \frac{B_e + O_e}{\sum d}, \quad (21)$$

где B_e — весенние запасы доступной влаги в метровом слое почвы (мм), O_e — количество осадков с весны до времени максимальной урожайной травостоев (мм), $\sum d$ — сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за тот же период (мм).

Л. С. Кельчевская [38] в качестве показателя увлажненности использовала видоизмененный показатель Г. Т. Селянинова. Известно, что сельскохозяйственные культуры в значительной мере используют весенние влагозапасы. Поэтому автор рекомендует при расчете показателя увлажненности для оценки влагообеспеченности сахарной свеклы учитывать осенне-зимние осадки с поправочным коэффициентом их поглощения почвой.

Формула имеет вид

$$K = \frac{k \sum r_1 + \sum r_2}{0,1 \sum t}, \quad (22)$$

где $k \sum r_1$ — сумма осадков за период от уборки культуры в предыдущем году до ее посева в последующем с определенным коэффициентом поглощения, $\sum r_2$ — сумма осадков за период вегетации, $0,1 \sum t$ — сумма температур, уменьшенная в 10 раз.

Поправочный коэффициент поглощения осадков почвой может быть рассчитан по номограммам (см. часть II, раздел 3.8, а также работы [37, 39]).

2.6. Расчеты дат начала и конца избыточно влажных, засушливых и сухих периодов и их продолжительности

По ГТК Селянинова представляется возможным установить начало, конец и продолжительность избыточно влажных, засушливых и сухих периодов. С этой целью ГТК вычисляется по отдельным месяцам за период с температурой выше 10° . ГТК, равный $3,0-4,0$, соответствует избыточно влажным условиям, равный $1,0$ — засушливым и $0,5$ — сухим.

Длительность сухого (баланс влаги за месяц ниже $0,5$) и засушливого периодов (баланс влаги за месяц ниже $1,0$) определяется в пределах дат начала и конца их, которые получаются по формуле [67]:

$$D = \frac{k-b}{a-b} d + 15, \quad (23)$$

где D — число дней, которое надо вычесть от конца месяца (в случае определения даты начала периода) или прибавить к началу

его (в случае вычисления даты конца периода); k — предельный коэффициент ($0,5$ или $1,0$); b — баланс влаги первого (или последнего) месяца с балансом ниже предела; a — то же для месяца с балансом выше предела; d — число дней месяца и 15 — коэффициент, относящий получаемые данные к середине месяца.

Пример. Ташкент. ГТК или баланс влаги по месяцам.

IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1,2	0,5	0,2	0,0	0,0	0,1	0,7	1,6
(a)	(b)				(b)	(a)	

Определяем длительность сухого периода (баланс влаги ниже $0,5$):

начало

$$D_1 = \frac{0,5-0,5}{1,2-0,5} \cdot 31 + 15 = 15,$$

т. е. 15 мая;

конец

$$D_2 = \frac{0,5-0,1}{0,7-0,1} \cdot 30 + 15 = 35,$$

т. е. 5 октября.

Различные периоды увлажнения можно определять также и графическим путем (по Ф. Ф. Давитая). По оси абсцисс откладываем месяцы, а по оси ординат — соответствующие значения ГТК на 15-е число каждого месяца. Соединяя точки, получаем кривую, по которой на пересечении определенного значения ГТК и соответствующей даты устанавливаем начало и конец избыточного влажного (ГТК равен $3,0-4,0$), засушливого ($1,0$) и сухого ($0,5$) периодов. Продолжительность же периодов определяем путем подсчета числа дней между начальной и конечной датами.

2.7. Расчет сумм температур, обеспеченных осадками

Понятие о сумме температур, обеспеченной осадками, введено Г. Т. Селяниновым. Известно, что сельскохозяйственная значимость сумм температур сильно зависит от обеспеченности влагой. При отсутствии влаги значение огромного количества тепла для сельского хозяйства представляется ничтожным. Естественная продуктивность некоторых южных жарких, но сухих районов без дополнительного увлажнения может быть равной или даже меньше производительности северных холодных, но хорошо обеспеченных влагой районов. Так, например, в Ташкенте сумма температур выше 10° составляет более 4000° за вегетационный период, а осадками обеспечена только сумма 1040° , т. е. почти сумма Коми АССР.

Сумма температур, обеспеченная осадками, подсчитывается графическим способом в пределах дат начала и конца засушливых периодов.

3.1. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры

Для подавляющего большинства озимых культур и многолетних растений низкие температуры в течение зимы в основном решают вопрос о возможности промышленного внедрения этих культур в районах с суровыми зимами. Растения повреждаются в результате наступления критически низких для них температур. Следовательно, целесообразнее и правильнее учитывать абсолютные понижения температуры. Однако абсолютные понижения температуры не характерны. Величина абсолютного минимума зависит от числа лет наблюдений.

Климатически абсолютный минимум трудно применить для сравнительной оценки морозоопасности места. Для этой цели наиболее удобен средний из абсолютных годовых минимумов, предложенный впервые Ганном [120] с последующей агроклиматической расшивкой Селяниновым [57, 84].

Для получения средних из абсолютных минимумов абсолютные минимумы по годам алгебраически суммируются и результат делится на число наблюдений. Преимущество среднего из абсолютных минимумов заключается в том, что на его основании можно судить о повторяемости климатических температур ниже любых пределов, возможных на данном месте.

3.2. Расчет вероятности минимальных температур в отклонениях от средней из абсолютных годовых минимумов и построение кривых вероятности

Повторяемость (вероятность) минимальных температур рассчитывается в отклонениях от средней из абсолютных годовых минимумов. В принципе расчеты аналогичны расчету повторяемости сумм активных температур.

Для расчетов используются станции с достаточно длинным периодом наблюдений за минимальной температурой воздуха (30 лет и более). За все годы наблюдений подсчитываются положительные и отрицательные отклонения минимальных температур от средней из абсолютных годовых минимумов по градациям через 1° . Число случаев (повторяемость) различных отклонений выражается в процентах от всего числа случаев, и проценты последовательно суммируются от наибольших положительных отклонений до наибольших отрицательных отклонений.

На основании полученных данных суммарной вероятности строятся графическая зависимость. По оси абсцисс наносят отклонения (через $\pm 1^\circ$) от среднего из абсолютных годовых минимумов температуры, который в данном случае принимается за нуль. По ординате дается выраженная в процентах вероятность наступления минимумов ниже определенного предела.

Для территории Советского Союза можно выделить лишь три основных типа кривой вероятности — первый, охватывающий всю европейскую часть и Западную Сибирь, второй, наблюдающийся в Забайкалье, и, наконец, последний, с наибольшей амплитудой, характерен для степи и пустынь Средней Азии (рис. 26) [67].

При использовании этих типов кривых следует учитывать, что они вычислены для нормального местоположения станции. Должное, инверсионное или, наоборот, очень благоприятное положение

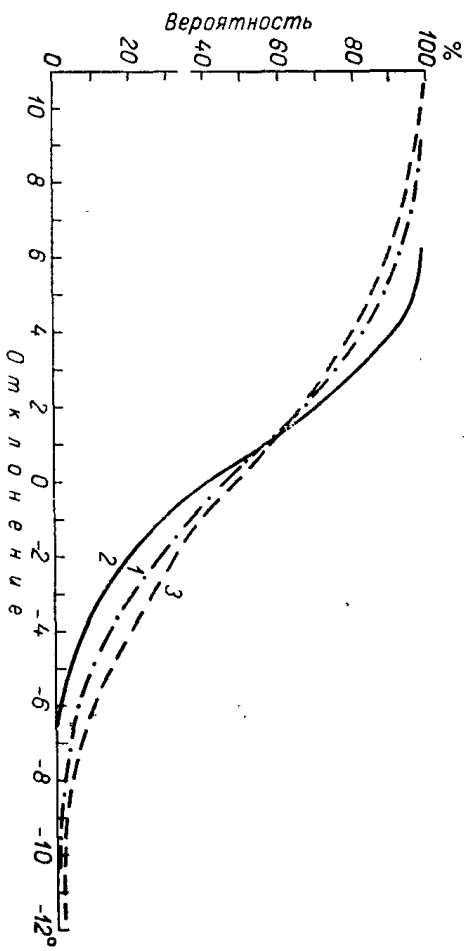


Рис. 26. Кривые вероятности наступления низких минимальных температур в зависимости от средних из абсолютных годовых минимумов температуры [67].

1 — европейская часть СССР и Западная Сибирь, 2 — Забайкалье, 3 — Средняя Азия.

станции на склонах внесет в каждом отдельном случае свои узкие местные коррективы.

Проценты вероятности наступления определенного понижения температуры, в которых она дана на графике, можно перевести в частоту повторяемости ее по годам:

100% — ежегодно,	40% — 1 раз в 2—3 года,
90% — 9 раз в 10 лет, 30% — 1 раз в 3 года,	
80% — 8 раз в 10 лет, 20% — 1 раз в 5 лет,	
60% — 7 раз в 10 лет, 10% — 1 раз в 10 лет,	
50% — 1 раз в 2 года, 0% — отсутствует.	

Принцип пользования графиком следующий. Необходимо знать среднюю из абсолютных годовых минимумов температуру (например, $-3,7^\circ$) и критическую температуру для культуры (-10°), вероятность наступления которой определяется. По данным рассчитывается отклонение. Из критической температуры вычисляется средняя из абсолютных минимумов температуры: $-10^\circ - (-3,7^\circ) = -6,3^\circ$. На графике для ЕТС по оси абсцисс находится полученная величина отклонения ($-6,3^\circ$) и восстанавливается перпендикуляр к кривой, с которой снимается вероятность

(в приведенном примере вероятность наступления температур -10° приближается к 0%).

Удобство пользования средними из абсолютных годовых минимумов температуры заключается еще и в том, что на основе этого показателя может быть составлено представление о чисте дней и даже часов с температурой ниже любых пределов.

3.3. Картирование средних из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха

Картирование средних из абсолютных годовых минимумов температуры дает наглядное представление об условиях зимовки на определенной территории. Для этого используется метод построения фоновых карт, описанный выше, т. е. изолинии среднего из абсолютных минимумов температуры на карте проводятся по данным преобладающего количества станций, характеризующих изменения в макромасштабе. Данные всех станций, отклоняющихся от изолиний на $\pm 1^\circ$, типизируются по местоположению и даются в виде поправок в таблице к карте [59, 70].

Некоторую трудность представляет картирование среднего из абсолютных минимумов T_{\min} в горных районах, поскольку здесь влияние формы рельефа часто перекрывает изменения T_{\min} в зависимости от высоты места. В этом случае целесообразно для определения вертикальных температурных градиентов в конкретном горном районе сгруппировать станции по основным формам рельефа:

- 1) вершины и верхние части склонов с относительной разностью высот между верхней точкой и дном долины более 150 м,
- 2) середина склонов,
- 3) горные долины (шириной ≤ 4 км в поперечнике) с относительной разностью высот между дном и бровкой долины более 150 м,
- 4) замкнутые узкие (менее 1 км в поперечнике) долины и плоские котловины.

Далее строятся графики связи T_{\min} с высотой места для основных районов с учетом форм рельефа и по возможности экспозиции склона. По графикам рассчитываются вертикальные градиенты среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (град/100 м). Данные приведены в табл. 21.

В Главной геофизической обсерватории проведено схематическое районирование поправок для среднего из абсолютных годовых минимумов температур на местоположение в изрезанном рельефе для территории СССР. Рассмотрены районы в умеренном и континентальном климате с выровненным рельефом ($\Delta h \leq 50$ м), с холмистым рельефом ($\Delta h = 50 \div 150$ м), с низко- и среднегорным рельефом ($\Delta h = 150 \div 300$ м) и горным рельефом ($\Delta h > 300$ м). В соответствии с принятой классификацией выделено семь зон с разными поправками на T_{\min} в холмистом и горном рельефе.

Таблица 21

Высота (м) прохождения изолиний среднего из абсолютных годовых минимумов температуры (град.) воздуха в горах Большого и Малого Кавказа, Тянь-Шаня и Памира

Горная система	Широта места (град.)	T_{\min}									
		-8	-12	-16	-20	-24	-28	-32	-36	-40	-44
Малый Кавказ	39—42	—	400	1200	1900	2600	3300	—	—	—	—
Южный склон Большого Кавказа	41—43	250	600	1050	1600	2300	3000	3700	—	—	—
Северный склон Большого Кавказа	43—44	—	—	—	900	200	3000	3700	—	—	—
Южные склоны Зеравшанского, Заилийского хребтов и Памира	37—39	—	—	1050	1500	2250	—	—	—	—	—
Северные склоны Туркестанского, Зеравшанского и Алтайского хребтов	39—40	—	—	—	1850	2550	3150	3800	4450	5100	5800
Южные склоны Таласского и Ферганского хребтов	40—42	—	—	—	2100	2950	3600	4200	4800	5400	6000
Северные склоны Таласского и Заилийского хребтов	42—44	—	—	—	500 1800	1900 1000 2350	2800 400 2900	3500 3400	4200 3900	4900 4400	5600 —

Примечание. Двойные цифры высот прохождения изолиний T_{\min} обозначают нижнюю и верхнюю границы инверсии.

В северо-западных, западных и южных равнинных районах Европейской территории СССР, на побережьях северных морей, в северных и центральных районах Западной Сибири, а также в субтропических районах Западной Грузии и Азербайджана с выровненным, слабо выраженным рельефом ($\Delta h \leq 20 \div 50$ м) вершины и верхние части склонов примерно на 2° теплее, а замкнутые узкие долины и котловины на $3-4^\circ$ холоднее открытого ровного места. Максимальные микроклиматические различия по элементам рельефа не превышают $5-6^\circ$ (зона I).

В более континентальном климате Приволжской, Туранской низменностей, а также южных районов Западной Сибири при той же относительной разности высот ($\Delta h = 20 \div 50$) микроклиматические поправки возрастают и составляют $6-7^\circ$ между вершиной и котловиной или узкой долиной (зона II).

На возвышенностях Европейской территории СССР (Среднерусской, Валдайской, Приволжской, Вольно-Подольской, Ставропольской, Донецкого края, Общего Сырта) и в холмистой местности Кольского полуострова и полуострова Таймыр (при Δh , равной $50-150$ м) T_{\min} на вершинах на $3-4^\circ$ выше, а в котловинах на $4-5^\circ$ ниже, чем на открытом ровном месте, т. е. максимальная поправка на рельеф составляет $7-9^\circ$. Примерно такие же поправки могут быть в выровненных районах предгорий Тянь-Шаня и Памира и в Центральной Якутии ($\Delta h = 50$ м) в связи с возрастанием континентальности климата, а также в горах Кавказа выше 2 км в связи с влиянием абсолютной высоты над уровнем моря (зона III).

В континентальном климате Казахского мелкосопочника, предгорий Алтая, Саян, Тянь-Шаня и Восточной Сибири в холмистом рельефе ($\Delta h = 50 \div 150$ м) различия в T_{\min} между выпуклыми и вогнутыми формами рельефа возрастают до $9-11^\circ$. Примерно такие же поправки наблюдаются в низко- и среднеронном рельефе ($\Delta h = 150 \div 300$ м) Урала, Кавказа, Карпат, Копет-Дарга, а также Камчатки и Чукотского полуострова (зона IV).

В низко- и среднеронных районах Тянь-Шаня, Памира, Алтая, Саян и Восточной Сибири ($\Delta h = 150 \div 300$ м), а также в горных районах выше 2 км максимальные поправки на рельеф возрастают до $11-13^\circ$. Сходные по величине поправки возможны в горном рельефе Кавказа при возрастании относительной разности высот от 300 м и более (зона V).

При возрастании базисов эрозии до 300 м и более в горах Тянь-Шаня, Памира, Алтая, Саян и Восточной Сибири максимальные различия в T_{\min} по элементам рельефа возрастают до $13-15^\circ$ (зона VI).

Наибольшие контрасты в распределении T_{\min} по элементам рельефа возможны в горах Центральной и Восточной Якутии (хребты Верхоянский, Черского, Оймяконское, Нерское плоскогорья), где при $\Delta h = 300$ м вершины на 6° теплее, а замкнутые долины на $9-10^\circ$ холоднее, чем середина склона, т. е. максимальные различия достигают $15-17^\circ$ (зона VII).

Из рассмотренных данных следует, что поправки на рельеф T_{\min} имеют четко выраженную географическую изменчивость. Достаточно сказать, что максимальные различия T_{\min} на выпуклых и вогнутых формах рельефа возрастают более чем в три раза в направлении с северо-запада на восток и юго-восток в соответствии с увеличением континентальности климата и относительных разностей высот местности в разных районах СССР. Вместе с тем следует иметь в виду, что рассмотренное районирование поправок на местоположение T_{\min} в холмистом и горном рельефе является схемой, которую предстоит уточнять на местах, привлекая для этих целей данные всех метеорологических станций, в том числе и новых.

3.4. Обработка данных по минимальной температуре почвы

Учет температуры почвы обязателен для оценки морозоопасности территории применительно к многолетним культурам.

Ф. Ф. Давитая [49] установил, что для оценки условий перезимовки растений могут быть также применены средние из абсолютных годовых минимумов температуры почвы. Для обработки используются данные наблюдений за температурой почвы на той или иной глубине (для плодовых 20 или 40 см, для озимых зерновых и многолетних трав — на глубине залегания узла кущения) по длиннорядным станциям. Берутся абсолютные минимальные температуры по годам на определенной глубине и вычисляется средняя из них, а также отклонения от средней по годам. Затем строится график повторяемости минимумов в отклонениях от среднего. По оси ординат дается повторяемость, а по оси абсцисс — отклонение температуры от среднего из абсолютных годовых минимумов.

Исследования Давитая показывают, что кривые повторяемости минимальной температуры почвы на ЕТС изменяются в зависимости от снежного покрова и глубины почвенного горизонта. Так, в северных районах ЕТС абсолютный минимум температуры почвы мало колеблется из года в год. В соответствии с этим кривая имеет меньший размах по сравнению с кривой для южных районов. В северных районах отклонение абсолютных минимумов на глубине 25 см от среднего многолетнего значения может быть от $+2,5$ до -3° , в пределах вероятности от 10 до 90% ; в южных же районах эти отклонения могут быть от $+4$ до -5° . Происходит это вследствие более глубокого и устойчивого снежного покрова в северных районах. Фактических наблюдений за минимальной температурой почвы на глубине узла кущения очень мало, что затрудняет климатологическую обработку. Однако получить их можно косвенным путем при помощи расчетов по метеорологическим элементам, данные по которым имеются за большой ряд лет.

В основу расчетов может быть положена найденная В. А. Моисейчик [2, 83 и др.] экспериментальным путем зависимость минимальной температуры почвы на глубине 3 см от минимальной

температуры воздуха, глубины промерзания почвы и высоты снежного покрова. При отсутствии снежного покрова расчеты минимальной температуры почвы на глубине 3 см могут быть произведены по формуле

$$t_{i+1} = t_i + 0,7(T_{i+1} - T_i) - 0,33, \quad (24)$$

где t_{i+1} — минимальная температура почвы на глубине 3 см за данный день, t_i — та же температура почвы за предшествующий день, T_{i+1} — минимальная температура воздуха за данный день, T_i — минимальная температура воздуха за предшествующий день.

При наличии снежного покрова минимальная температура почвы может быть рассчитана по следующему уравнению регрессии: при высоте снежного покрова 5 см

$$z = 0,62y - 0,07x + 5,2, \quad (25)$$

при высоте снежного покрова 10 см

$$z = 0,15y - 0,06x + 0,48, \quad (26)$$

при высоте снежного покрова 15 см

$$z = 0,17y - 0,06x + 1,9, \quad (27)$$

где z — минимальная температура почвы на глубине 3 см, y — минимальная температура воздуха, x — глубина промерзания почвы.

3.5. Обработка данных наблюдений по снежному покрову

Для растений, зимующих под снегом, большое значение имеет учет мощности снежного покрова, характера его залегания, а также учет динамики снежного покрова, так как в разные периоды зимы он может иметь неодинаковое климатическое значение для характеристики перезимовки культурных растений.

Целесообразно для характеристики снежного покрова пользоваться данными наблюдений по снегосъемкам. Обычно для характеристики высоты снежного покрова и его динамики за зиму в агроклиматологии используются декадные данные снегосъемок за большой ряд наблюдений.

Климатологическая обработка данных наблюдений по снежному покрову (на последний день декады) сводится к следующему [63]: анализ рядов наблюдений, приведение данных по высоте снежного покрова к длинному периоду, построение карт распределения высоты снежного покрова по территории, расчет второстепенности различных высот снежного покрова.

Вследствие переменности места измерения высоты снега в разные годы или изменения степени защищенности участка от ветров ряды наблюдений становятся неоднородными. При анализе материала существенно выбирать ту часть ряда, которая дает высоту снежного покрова, наиболее характерную для значительной площади.

По О. А. Дроздову, анализ однородности рядов производится по высоте снежного покрова, для чего строятся графики корреляционной зависимости максимальных высот снежного покрова за каждую зиму двух соседних станций. Под термином максимальная высота снежного покрова понимается средняя из

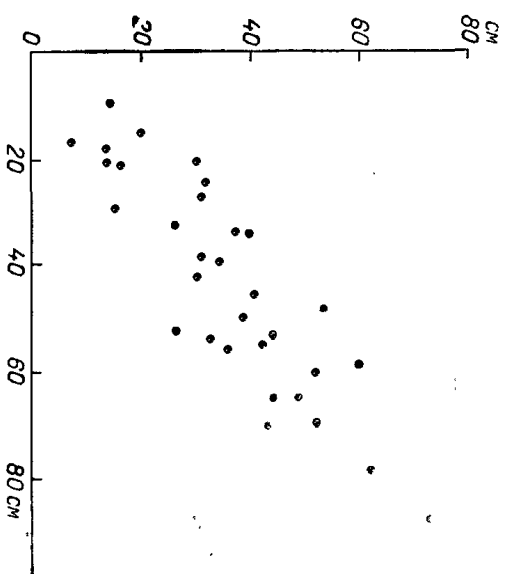


Рис. 27. Связь максимальных высот снежного покрова двух пунктов.

наибольших декадных высот за зиму. Получается она путем осреднения максимальных декадных высот снежного покрова, выбранных из каждого года, независимо от того, в какую декаду они наблюдаются.

Пример связи максимальных декадных высот снежного покрова для двух пунктов приведен на рис. 27.

При использовании данных по снежному покрову целесообразно опираться на периоды наблюдений значительной длительности. Е. Я. Щербакова показала, что даже в районах с устойчивым покровом 20-летние средние дают еще большие отклонения от 40-летних с искажением годового хода. Поэтому при использовании коротких рядов наблюдений следует по возможности приводить их к длинному ряду.

Приведение осуществляется по графику корреляционной зависимости между максимальными декадными высотами снежного покрова приводимой и опорной станций. Однако следует иметь в виду, что приведение целесообразно только при небольшом расхождении точек и когда они достаточно тесно лежат вдоль прямой «линии зависимости». Кроме того, приведение имеет смысл в тех случаях, когда большая ось эллипса рассеяния точек не менее чем в два раза больше малой оси.

Приведение к длинному ряду высоты снежного покрова за каждую декаду производится по карте изомер высоты снежного

покрова для конкретной декады. Для этой цели по многолетним средним для всех длинных рядов вычисляются средние высоты снежного покрова за каждую декаду и выражаются в процентах от средней из наибольших декадных высот за зиму. При вычислении необходимо учесть некоторые особенности расчетов высот снежного покрова для начала и конца зимы, так как в некоторые

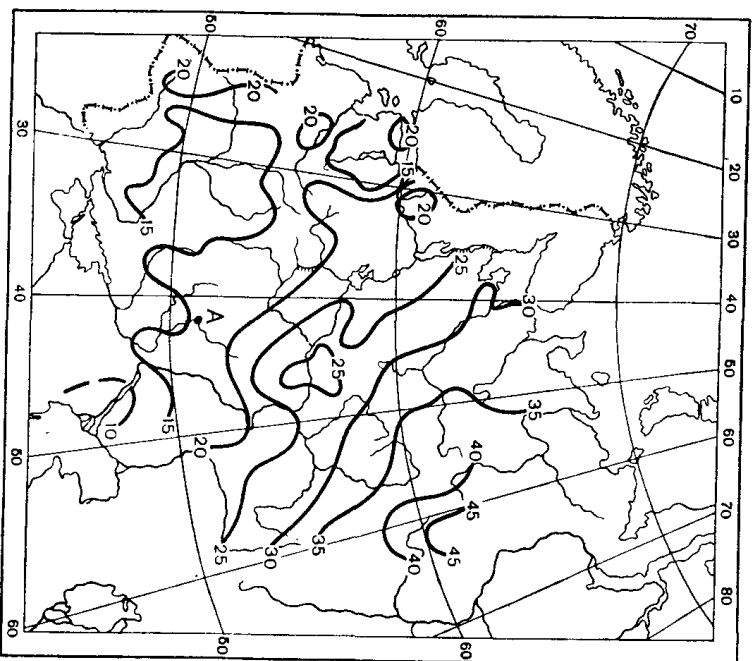


Рис. 28. Карта изомер первой декады декабря [63].

декады в начале и конце зимы снежный покров лежит не ежегодно. О. А. Дроздов предложил для тех декад, когда более чем в 50 % зим снежного покрова не было, не выводить средних значений. В таблицах многолетних средних декадных высот снежного покрова особым знаком — точкой (•) — показывают, что в соответствующую декаду снежный покров наблюдался менее чем в 50 % зим.

В случае приведения декадных данных короткомерных станций к длинномерным строятся карты изомер высоты снежного покрова в процентах от средней из наибольших декадных высот за зиму. С этих карт путем обычной интерполяции снимаются значения процентов для пунктов с короткими рядами наблюдений. А так как многолетняя средняя максимальная высота снежного покрова уже определена для короткомерной станции путем приведения с помощью корреляционных графиков, то легко вычислить за декаду высоту снежного покрова в сантиметрах.

Пример. Для пункта А по карте изомер (рис. 28) определяем, что высота снежного покрова за первую декаду декабря, выраженная в процентах от средней из наибольших декадных высот, составляет 16 %. Средняя из наибольших декадных высот для этого пункта, приведенная к многолетнему периоду с помощью корреляционного графика, равна 40 см.

Высота снежного покрова для первой декады декабря составит соответственно 6 см:

$$100\% - 40 \text{ см} \\ 16\% - x \text{ см} = 6 \text{ см.}$$

Построение карт изомер высоты снежного покрова возможно лишь тогда, когда имеется достаточное количество станций с длинными рядами наблюдений, более или менее равномерно распределенных по территории.

Для оценки условий перезимовки целесообразно строить карты распределения высоты снежного покрова по территории. В климатологии обычно карты строятся по средней из наибольших декадных высот снежного покрова за зиму. В агроклиматологии чаще интересны карты по снежному покрову за периоды наиболее низких температур (за какую-нибудь декаду января и т. д.).

Принцип построения карт одинаков. При построении используются данные наблюдений снегомерных съемок, обработанные в соответствии с приведенной выше методикой. В условиях изрезанного рельефа рассчитываются фактические вертикальные градиенты высоты снежного покрова для отдельных горных систем, отдельных склонов и т. п. Эти градиенты используются для проведения изолиний высоты снежного покрова этих горных систем и склонов. Учитывается также форма рельефа, экспозиция склона, степень защищенности места от ветров.

3.6. Расчеты повторяемости различных высот снежного покрова

Судить о перезимовке озимых только по средней многолетней высоте снега трудно. Известно, что высота снежного покрова выше средней обеспечена только в 50 % лет, а в остальные 50 % лет она ниже. Для более полной характеристики снежного покрова рассчитываются повторяемости различных высот снежного

Таблица 22
Повторяемость зим с различной максимальной высотой снежного покрова (%)

Станция	Высота снежного покрова, см											
	61—70	71—80	81—90	91—100	101—110	111—120	121—130	131—140	141—150	151—160		
Чердынь	12	14	12	22	19	10	2	2	5	2		

Повторяемость различных высот снежного покрова (см) по декадам (%). Чердынь, защищенная установка

Пределы (от—до)	X			XI			XII			I			II			III			IV			V		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	74	43	31	11	2																	92	8	
1—5	21	41	41	37	16	2																79	13	5
6—10	5	13	15	14	21	39	2															8	8	0
11—20		3	10	27	23	18	14	2														5	3	
21—30			3	9	26	36	46	4																
31—50				2	12	5	27	11																
51—75							16	6																
76—100							25	5																
101—125							9	2																
126—150							21	5																
151—200							6	2																

покрова. Важно знать повторяемость зимы с той или иной высотой снежного покрова, а также повторяемость различных высот снежного покрова по декадам.

Повторяемость снежного покрова рассчитывается обычным способом. Первоначально подсчитывается число случаев с высотой снега в определенных градациях, которое затем выражается в процентах от общего числа лет. В табл. 22 приведены расчеты повторяемости зим с различной максимальной высотой снежного покрова [63]. Из таблицы видно, что наиболее часто (в 22% всех зим) максимальная высота снежного покрова за зиму составляет 91—100 см, но бывают зимы (около 2% всех зим), когда высота снежного покрова превышает 150 см.

Пример, иллюстрирующий повторимость различных высот снежного покрова по декадам, дан в табл. 23.

3.7. Расчеты распределения снежного покрова на полях

Хорошо известно, что на одном и том же поле снежный покров распределяется крайне неравномерно. Поэтому важно произвести расчеты распределения снежного покрова на полях при разной средней высоте его по многолетним данным снегомерок.

Ряд авторов (Петушин, Окушко, Моисейчик и др.) установили, что средняя высота снежного покрова 10 см

и меньше не дает при низких температурах гарантии благополучной перезимовки озимых, так как в этих случаях большие участки поля плохо укрыты снежным покровом. Благоприятный исход перезимовки даже при очень сильных морозах возможен только при средней высоте снежного покрова больше 30 см, когда на поле нет участков с высотой снежного покрова меньше 10 см.

Для выяснения распределения снежного покрова на полях озимых лучше всего использовать фактические данные о количестве примеров с различной высотой, полученные по снегомерке. Так как снегомерка состоит из 100 промеров на типичном для района участке поля, то высоту каждого промера можно принять за показатель укрытия снежным покровом данной высоты 1% площади поля [83].

Вероятность распределения снежного покрова на полях рассчитывается за период наблюдений не менее чем за 20 лет. По результатам снегомерок на полях за каждый год выбираются декады с определенной средней высотой снежного покрова (1, 2, 3, 4 см и т. д.) и соответствующим числом промеров по градациям высот (0, 1—3, 4—6, 7—10, 11—15, 16—20, 21—30, 31—50, 51—80, 81—100 см). Затем все случаи промеров отдельно по каждой

Таблица 24
Вероятность распределения снежного покрова на полях озимых при различной средней высоте его по снегомерке (в % от общей площади поля)

Средняя высота снежного покрова по снегомерке, см	Градации высоты снежного покрова, см									
	0	1—3	4—6	7—10	11—15	16—20	21—30	31—50	51—80	81—100
1	70	24	5	1	0	—	—	—	—	—
2	46	33	17	4	0	—	—	—	—	—
3	27	38	25	9	1	0	—	—	—	—
4	18	30	36	13	3	0	—	—	—	—
5	10	25	39	21	5	0	—	—	—	—
6	7	16	34	29	10	1	0	—	—	—
7	5	11	30	35	12	2	0	—	—	—
8	2	7	18	42	15	6	0	—	—	—
9	2	7	14	38	23	7	1	0	—	—
10	1	4	12	34	32	9	3	0	—	—
11	1	4	9	29	38	13	4	0	—	—
12	1	3	7	24	37	19	4	0	—	—
13	0	3	6	21	35	23	4	1	0	—
14	0	2	5	17	33	27	11	2	0	—
15	0	2	4	14	29	29	14	2	0	—
16	0	2	4	13	25	30	19	3	0	—
17	0	1	4	10	23	31	23	4	0	—
18	0	0	4	9	23	31	26	6	0	—
19	0	0	2	8	21	30	32	6	0	—
20	0	0	2	9	19	28	33	10	0	—
21—30	0	0	1	3	19	21	44	21	1	0
31—50	0	0	0	0	9	5	25	63	6	0

градации усредняются за все годы и выписываются в специальную таблицу (табл. 24).

В табл. 24 даны расчеты вероятности распределения снежного покрова, произведенные В. А. Моисейчик для юго-восточных районов СССР.

Для характеристики условий перезимовки очень важно знать также обеспеченность укрытия полей снежным покровом по годам в зависимости от средней многолетней его высоты. Обеспеченность укрытия полей снежным покровом рассчитывается обще-

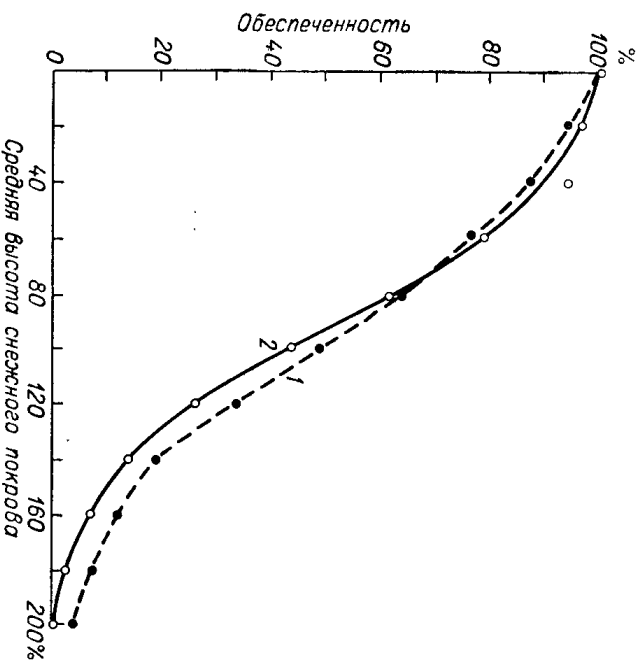


Рис. 29. Обеспеченность средней высоты снежного покрова (снегостемка) по средней многолетней (%).
1 — юго-восток ЕТС, 2 — степные районы Западной Сибири и Казахстана.

принятым для всех элементов способом. Очень удобно пользоваться при расчетах кривыми обеспеченности В. А. Моисейчик [2] построила кривую обеспеченности средних для поля высот снежного покрова по годам в зависимости от средней многолетней его высоты, которая выражена в процентах (рис. 29).

Пример пользования кривой. Средняя многолетняя высота снежного покрова по станции А, расположенной на юго-востоке ЕТС, составляет 30 см. Она принимается за 100%. Необходимо определить обеспеченность высот 10 см и выше, сохраняющих жизнеспособность озимых. В процентах от многолетней высоты (30 см) 10 см составит 33%.

От оси абсцисс (рис. 29), соответствующей 33%, проводим прямую до пересечения с кривой обеспеченности, от нее проводим

прямую к оси ординат и получаем обеспеченность, равную 95%, т. е. высота снега выше 10 см обеспечена в пункте А почти ежегодно.

3.8. Обработка данных наблюдений над промерзанием почвы

Промерзание почвы также характеризует суровость зимы. Обычно промерзание почвы характеризуется данными наблюдений о глубине промерзания почвы на конец каждого месяца зимнего периода.

Средняя многолетняя глубина промерзания почвы на конец каждого месяца вычисляется как средняя из соответствующих глубин за каждый год наблюдений, произведенных одним каким-либо методом: методом пробного бурения или по мерзлотомеру Данилина. Период наблюдений должен быть не менее 10 лет.

Глубина промерзания почвы зависит от многих факторов: рельефа, типа почвы, растительности, характера залегания снежного покрова, близости грунтовых вод, влажности почвы и др. Воздействие этих факторов обычно бывает комплексным. Поэтому выявление поправок на среднюю глубину промерзания почвы под влиянием местных условий представляет большие трудности и до настоящего времени изучено недостаточно.

На глубину промерзания почвы большое влияние оказывает высота снежного покрова. Например, при средней высоте снежного покрова 34 и 22 см глубина промерзания почвы соответственно равна 122 и 162 см.

Сильное воздействие на глубину промерзания почвы оказывает рельеф и микрорельеф. В первом приближении можно считать, что глубина промерзания почвы в зависимости от характера микрорельефа изменяется примерно в следующих размерах по отношению к ровной поверхности: возвышенные места и северные склоны от 1,2 до 1,5, восточные и западные склоны от 1 до 1,35, южные склоны от 0,7 до 0,9, пониженные места (западины) от 0,5 до 0,7 м.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Раздел 1. РАСЧЕТЫ ПО АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ТЕПЛО- И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Требования сельскохозяйственных культур к теплу в агроклиматических исследованиях выражают обычно в суммах температур выше 10° . При картировании сумм температур каждая изолиния той или иной суммы может быть принята за приближенную климатическую границу возможного возделывания определенных экологических типов сельскохозяйственных культур или даже сортов. Для этого необходимо потребность культур в тепле выразить в виде сумм температур также в пределах температуры выше 10° . Ниже излагаются способы расчета потребности растений в тепле и оценки их теплообеспеченности.

1.1. Климатические, биологические и биоклиматические суммы температур [113]

Климатические суммы выражают общие ресурсы тепла в данной местности. Они слагаются из средних суточных температур за период возможной вегетации культур, т. е. за период в пределах лимитных температур развития растений.

Биологические суммы выражают потребность растений в тепле и составляются из средних суточных температур непосредственно за период вегетации данного вида и сорта культур.

Биоклиматические суммы выражают количество тепла, наблюдаемое на данном месте и обеспечивающее ежегодное (или достаточно частое) созревание растений или наступление хозяйственно ценных фаз развития. Численно биоклиматическая сумма равна биологической сумме, увеличенной на определенное число для гарантии наступления нужных фаз развития. Биоклиматическую сумму температур можно написать в следующем виде:

$$\sum t_{\text{бк}} > 10^{\circ} = \sum t_{\text{б}} + P_{\text{к}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{м}} + P_{\text{к}} + 200(250, 300), \quad (28)$$

где $\sum t_{\text{бк}} > 10^{\circ}$ — биоклиматическая сумма температур выше 10° , $\sum t_{\text{б}}$ — биологическая сумма температур, $P_{\text{к}}$ — разность сумм тем-

ператур в пределах лимитных температур развития и за период с температурой выше 10° , $P_{\text{ш}}$ — поправка на широту местности, в которой в какой-то мере учитывается и уровень температуры вегетационного периода, $P_{\text{м}}$ — поправка на микроклиматические особенности местоположения, $P_{\text{к}}$ — поправка на континентальность, 200(250, 300) — отклонения сумм температур, соответствующие обеспеченности 90%.

Для расчета биоклиматической суммы температур необходимо определить все указанные составляющие. Лимитные температуры развития культур и биологические суммы температур можно использовать из литературных источников [61, 94, 113 и др.]. Биологическая сумма для одного и того же сорта и вида растений изменяется в зависимости от широты места и его континентальности.

Для растений длинного дня (пшеница, рожь, ячмень, овес, лен,

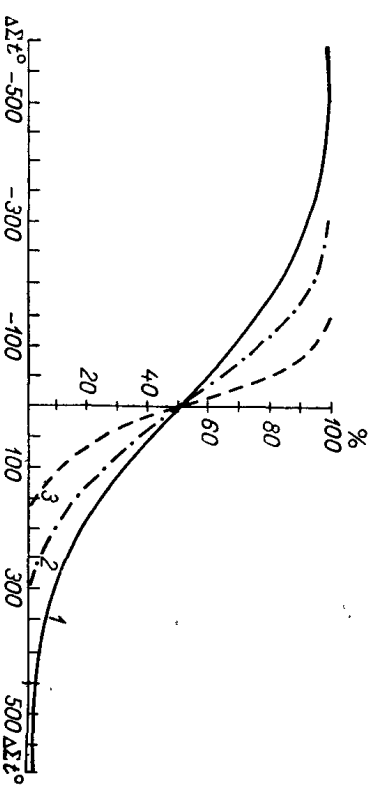


Рис. 30. Кривые обеспеченности вегетационного периода суммами температур для разных климатических зон.
1 — зона с неустойчивым типом климата, 2 — с устойчивым типом, 3 — с особо устойчивым типом.

горох, чечевица, люпин) с продвижением на север (с увеличением широты места) сумма температур за вегетационный период уменьшается, а с продвижением на юг — увеличивается. Для растений короткого дня (просо, сорго, соя, конопля), наоборот, в северных широтах сумма температур увеличивается, а в южных — уменьшается. Для растений нейтральных (гречиха, бобы, фасоль, подсолнечник, хлопчатник) биологическая сумма не изменяется в зависимости от широты места.

Суммы температур за вегетационный период зерновых культур изменяются примерно на $10-30^{\circ}$ при изменении широты на 1° .

Для правильной оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур недостаточно только сопоставления требований культур к теплу, выраженных в суммах активных температур, с фактически имеющимися на данной территории средними суммами активных температур. Известно, что при равенстве необходимых растений сумм температур с суммами, наблюдаемыми в данном районе, обеспеченность созревания или достижения опре-

Рабочая таблица для расчета обеспеченности теплом фаз развития озимой ржи

Годы	Сумма эффективных температур за период от				до прекращения вегетации (переход температуры через 5° 9 X)
	20 VIII	31 VIII	10 IX	20 IX	
1931	311	275	190	45	
1932	420	230	125	60	
1933	350	215	115	50	
1934	330	210	135	125	
1935	349	229	116	119	
1936	302	205	125	62	
1937	352	207	120	48	
1938	331	270	140	49	
1939	401	260	141	65	
1940	410	198	151	70	
1941	372	185	119	62	
1942	300	170	110	59	
1943	278	180	117	46	
1944	369	205	118	43	
1945	345	220	135	51	
1946	321	201	140	49	
1947	280	159	130	42	
1948	259	300	125	60	
1949	230	148	155	70	
1950	350	220	150	39	
1951	345	221	165	119	
1952	340	220	131	63	
1953	372	191	132	73	
1954	301	180	140	80	
1955	251	165	171	61	
1956	270	169	152	80	
1957	280	220	115	90	
1958	344	210	115	75	
1959	345	230	79	73	
1960	350	165	80	100	
Число случаев 30	329	210	131	69	
Средняя сумма температур					
Входов нет ($\Sigma_{эф. t} < 52^\circ$)					
Число случаев					
вероятность лет (%)					
Всходы или 3-й лист ($\Sigma_{эф. t} 52-119^\circ$)					
число случаев			9	17	
вероятность лет (%)			30	57	
Кущение ($\Sigma_{эф. t} \geq 119^\circ$)					
число лет	30	30	21	3	
вероятность лет (%)	100	100	70	10	

дежных фаз развития составляет 50%. Для гарантии ежегодного наступления нужных фаз требуется увеличение биологических сумм температур на определенную величину. За климатическую границу возможного возделывания культур условно можно принять сумму температур, обеспечивающую созревание или наступление хозяйственно ценных фаз развития в 90% лет (9 раз в 10 лет).

Для вычисления обеспеченности различных сумм активных температур можно воспользоваться показателями, разработанными Ф. Ф. Давытая для зон с неустойчивым, устойчивым и особо устойчивым климатом (рис. 30). Согласно рис. 30, суммы температур, обеспеченные в 90% лет, отклоняются от средней величины соответственно по зонам на 200, 250, 300°. Поэтому и сумма температур для обеспечения созревания культуры в 90% лет должна быть больше на эти величины отклонений.

Тип неустойчивого климата характерен для территории Европейской части СССР, Западной Сибири и Средней Азии, тип устойчивого климата — для Восточной Сибири и особо устойчивого — для районов крайнего северо-востока СССР.

1.2. Расчеты обеспеченности теплом озимых посевов в осенний период их развития

Оптимальным сроком сева озимых считается срок, при котором к моменту прекращения вегетации достигается нормальная кустистость.

По данным А. А. Шиголева [79], при достаточном увлажнении верхних слоев почвы сумма эффективных температур (выше 5°) от посева до всходов составляет для озимой ржи 52° и для озимой пшеницы 67°, от посева до начала кущения — для озимой ржи 119° и для озимой пшеницы 134°, но чтобы растения хорошо и полностью раскустились, сумма эффективных температур для ряда сортов должна быть не менее 300°, считая со дня посева.

Используя эти показатели и данные наблюдений за температурой воздуха в течение длительного периода (25—30 лет), можно рассчитать оптимальные сроки сева озимых по обеспеченности их теплом. Для этого за каждый год от заданного дня посева до даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5° подсчитывается сумма эффективных температур и определяется фаза развития.

В рабочую таблицу (табл. 25) вносятся за каждый год сумма эффективных температур выше 5° от посева до перехода температуры воздуха через 5°, затем для каждого срока сева рассчитывается средняя многолетняя сумма температур и число лет с той или иной фазой развития, которое выражается в процентах от общего числа лет наблюдений.

Сводные данные с окончательными результатами обеспеченности озимой культуры теплом представлены в табл. 26. Из анализа этой таблицы видно, что наилучшим сроком сева озимых будет последняя декада августа.

Сроки сева	Сумма эффективных температур от посева до прекращения вегетации, град.			Вероятность лет с фазой развития в конце вегетации, %		
	средн.	наиб.	наим.	всходов нет	всходы или 3-й лист	кушение
20 VIII	329	420	230			100
31 VIII	210	275	148			100
10 IX	131	190	79		30	70
20 IX	69	125	39	33	57	10

В районах с недостаточным увлажнением почвы в период посева (менее 20 мм в пахотном слое) определение даты наступления той или иной фазы развития озимых к моменту прекращения вегетации производится с учетом влажности почвы по методу Е. С. Улановой [101].

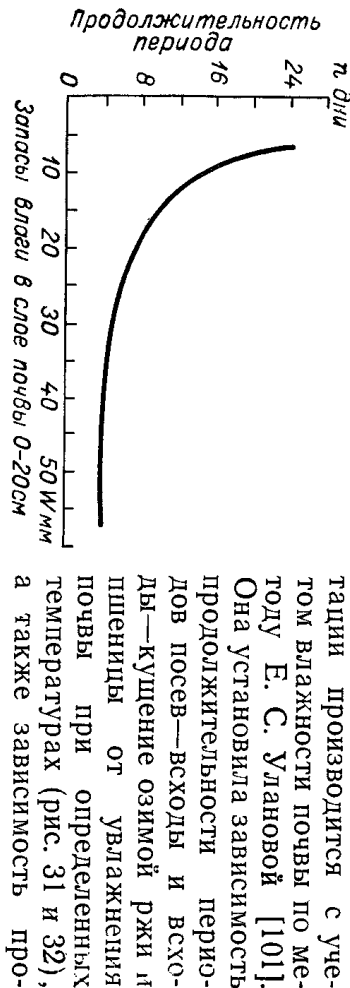


Рис. 31. Зависимость продолжительности (в днях) периода посев—всходы озимой ржи и озимой пшеницы n от запасов влаги W в слое почвы 0—20 см (при температуре выше 14°).

Производить также и по формулам:

$$n = 74,2/W^{0,74}, \quad (29)$$

где n — продолжительность межфазного периода посев—всходы озимых (дни), W — запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0—20 см;

$$n = 93,4/W^{0,64}, \quad (30)$$

где n — продолжительность межфазного периода всходы—кушение озимой (дни), W — запасы продуктивной влаги (мм) в слое 0—20 см.

Прежде чем приступить к расчетам дат наступления фаз развития и состояния озимых ко времени прекращения вегетации, необходимо определить дату прекращения вегетации по устойчивому переходу средней суточной температуры воздуха через 5° осенью.

Для расчета фаз развития за каждый год от первого срока сева по декадам (10/VIII, 20/VIII, 30/VIII и т. д.) выписываются данные по температуре, запасам продуктивной влаги в слое 0—20 см и сумме эффективных температур. По этим данным и графическим зависимостям (рис. 31—33) определяется период от сева до начала кушения.

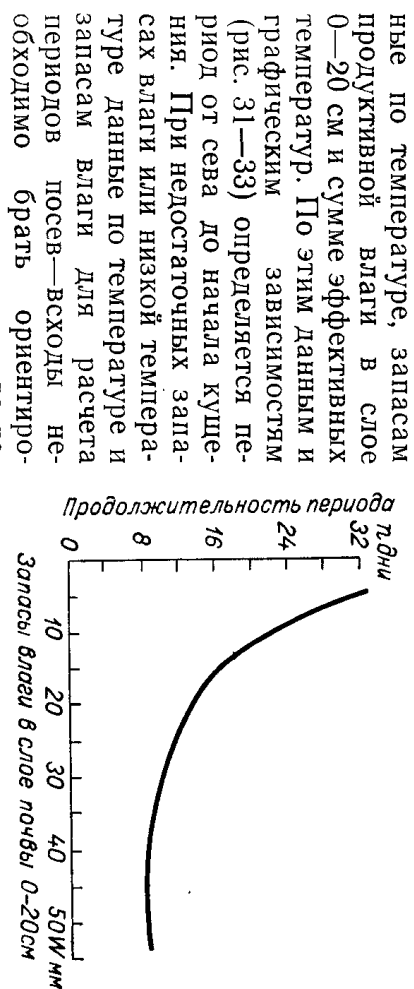


Рис. 32. Зависимость продолжительности (в днях) периода всходы—кушение озимой ржи n от запасов влаги W в слое почвы 0—20 см (при температуре выше 13°).

необходимо брать ориентировочно как средние за две декады. Затем рассчитываются ожидаемая кустистость озимых культур. В связи с тем, что показатели, определяющие интенсивность кушения в зависимости от комплексного воздействия температуры и запасов влаги, пока еще не разработаны, период от начала кушения до прекращения вегетации приходится оценивать только по температурным показателям. Это вносит в расчеты некоторую неточность, и данные по кустистости получаются несколько завышенными, так как отрицательное (тормозящее) действие недостатка влаги в этот период не учитывается. Однако эта неточность невелика. В период от начала кушения до прекращения вегетации температура воздуха бывает очень невысокой, а дожди начинают выпадать чаще и самый верхний слой почвы вследствие пониженного испарения обычно бывает увлажнен даже в засушливых районах. И все же в случае длительных расчетов кустистости лучше вести с момента выпадения дождя.

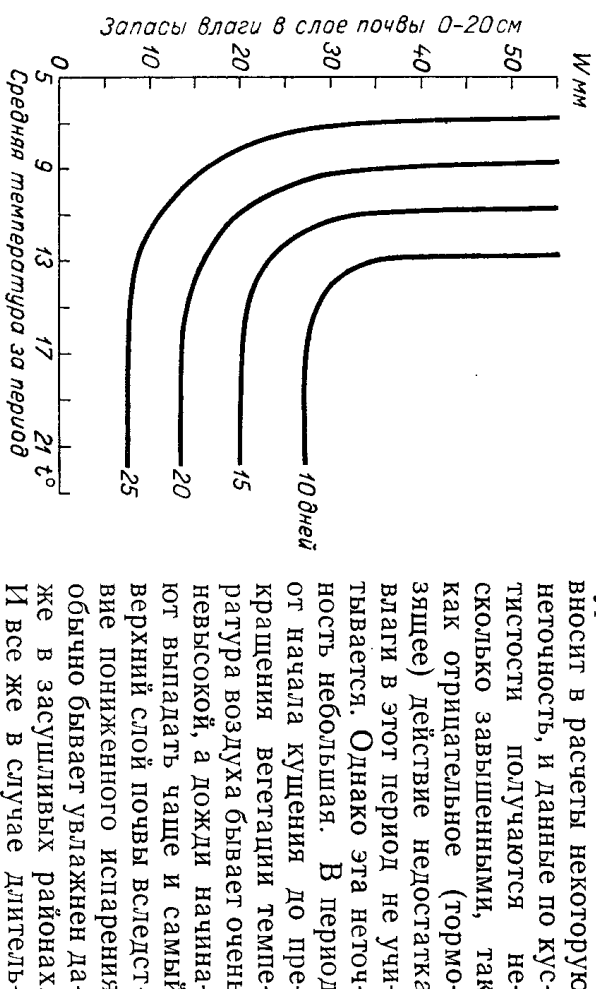


Рис. 33. Зависимость продолжительности (в днях) периода всходы—кушение озимой ржи n от средней температуры t и запасов влаги W в слое почвы 0—20 см.

Сумма эффективных температур 181° за период от начала кущения до прекращения вегетации будет показателем появления шести побегов озимой ржи, а 81° за этот же период — показателем трех побегов озимой ржи. По этим суммам температур за период кустистости и определяется состояние озимых ко времени прекращения вегетации. Для ряда новых сортов озимых культур суммы эффективных температур за период от начала кущения до прекращения вегетации целесообразно уточнить. Кроме того, по возможности следует уточнить температурные константы с учетом агрохимики (внесения удобрений и др.).

Пример расчета оптимальных сроков сева. Допустим, мы ведем расчет для срока сева 20/VIII. Для этого с учетом увлажнения почвы и температуры воздуха определяем продолжительность периода посев—всходы.

В нашем примере при посеве озимых 20/VIII в следующие две декады температура была выше 14° , а запасы влаги в слое почвы 0—20 см в среднем составляли около 12 мм. При таких условиях находим по графику на рис. 31, что продолжительность периода посев—всходы равна 12 дням, т. е. при сроке сева 20/VIII всходы должны появиться 1/IX. В следующие две декады после всходов (в первую и вторую декады сентября), в которые температура была выше 14° , запасы влаги вновь были около 12 мм. Продолжительность периода всходы—кущение по графику на рис. 32 при таких условиях равна 20 дням, т. е. начало кущения у озимых будет наблюдаться с 21/IX.

После определения даты начала кущения озимых подсчитываем сумму эффективных температур за период от начала кущения (21/IX) до конца вегетации (20/X); она равна 104° . Так как сумма эффективных температур 181° является необходимой для образования шести побегов, а 81° — для образования трех побегов, то сумма эффективных температур 104° в период кустистости обеспечит у озимых кустистость несколько больше трех побегов. Следовательно, для срока сева 20/VIII даже при недостаточных запасах влаги к концу вегетации у озимых будет наблюдаться несколько больше трех побегов.

Точно так же делаются расчеты и для других сроков сева. После того как за каждый год будут рассчитаны по всем срокам сева даты наступления фаз развития и кустистость, подсчитывается число лет в процентах с той или иной фазой развития и кустистостью. Результаты расчетов записываются по форме в таблицу (табл. 26).

1.3. Оценка условий произрастания теплолюбивых культур при разных сроках сева

Успешное развитие теплолюбивых культур в начале вегетации в значительной мере обуславливается температурой, увлажнением верхних слоев почвы, вероятностью наступления весенних заморозков определенной интенсивности.

Для обоснования оптимальных сроков сева теплолюбивых культур рассчитывается вероятность попадания семян в холодную и сухую почву, а также вероятность повреждения всходов заморозками.

Кроме того, учитывается степень развития и созревания теплолюбивых культур в конце вегационного периода.

Агроклиматическая характеристика условий произрастания сельскохозяйственных культур дается преимущественно для теплолюбивых культур (хлопчатника, кукурузы, проса, гречихи и др.). Расчет агроклиматических условий произрастания теплолюбивых культур при разных сроках сева показан на примере кукурузы.

Рассчитывается вероятность: 1) заделки семян в непрогретую почву; 2) заделки семян в сухую почву; 3) повреждения всходов весенними заморозками и 4) обеспеченность теплом наступления основных фаз развития.

Вероятность заделки семян в недостаточно прогретую почву определяется по переходу средней суточной температуры почвы на глубине 10 см через предел, оптимальный для посева культуры. Для кукурузы это будет $8-10^{\circ}$. Если нет длинного ряда лет наблюдений над температурой почвы, берутся эти же данные по температуре воздуха.

Даты перехода средней суточной температуры почвы или воздуха определяются за каждый год, и подсчитывается число случаев, когда в данном пункте переход средней суточной температуры произошел после того или иного срока сева культуры. Число случаев выражается в процентах от общего числа лет, взятых для расчета.

При вычислении вероятности заделки семян в сухую почву используются данные инструментальных наблюдений над влажностью почвы по пару или зяби. При отсутствии этих данных влажность почвы определяется расчетными методами, изложенными в руководстве по контролю и обработке наблюдений над влажностью и промерзанием почвы [78]. В качестве исходных данных о начальном увлажнении почвы берут результаты определения влажности почвы на зяби или под яровой пшеницей в конце апреля — начале мая. Изменения запасов влаги в слое почвы 0—20 см вычисляются за каждую декаду до последнего срока посева культуры. Затем подсчитывается число лет, когда запасы влаги в слое почвы 0—20 см были меньше 20 мм, и это число выражается в процентах от общего числа лет наблюдений.

Для вычисления вероятности повреждения всходов культуры весенними заморозками вначале расчетным методом определяются возможные даты появления всходов. Для этого могут быть использованы показатели Ю. И. Чиркова [111]. Сумма эффективных температур выше 8° составляет за период посев—всходы для сортов и гибридов различной скороспелости 83° (при глубине заделки семян 4 см и запасах продуктивной влаги более 15 мм в слое почвы 0—10 см).

Сумма эффективных температур, требующаяся в период посев—всходы, с поправкой на глубину заделки семян (в пределах 4—12 см) выражается следующим уравнением:

$$A = 83 + 7(h - 4), \quad (31)$$

где A — сумма эффективных температур выше 8° , накапливающаяся за период посев—всходы, при глубине h заделки семян; 83° — сумма эффективных температур за период при глубине заделки 4 см; 7° — дополнительная сумма эффективных температур, требующаяся на каждый сантиметр увеличения глубины заделки; h — глубина заделки семян в сантиметрах.

По средней суточной температуре (из ТМ-1) за каждый год подсчитывается сумма температур и определяется возможная дата всходов кукурузы для всех сроков сева. Одновременно в рабочую таблицу записывается дата последнего заморозка (для кукурузы — 1°). Затем для каждого срока сева определяется число случаев, когда весенние заморозки наблюдались после даты всходов, которое выражается в процентах от общего числа лет.

Обеспеченность теллом наступления основных фаз развития рассчитывается по накоплению соответствующей суммы температур от посева до перехода средней суточной температуры воздуха через 10° осенью или до первого осеннего заморозка, если он наблюдался раньше даты перехода температуры через 10° .

Вероятность повреждения кукурузы осенними заморозками рассчитывается так же, как и вероятность повреждения весенними заморозками, т. е. определяется число лет, когда первые осенние заморозки наблюдались до даты созревания кукурузы (здесь же могут быть и случаи невызревания кукурузы из-за недостатка тепла).

При расчете возможных дат созревания кукуруз пользуются следующими показателями: от посева до молочной спелости кукурузы требуется сумма эффективных температур выше 10° для раннеспелых сортов 620° , для среднеспелых 760° , для позднеспелых 900° , за период от посева до восковой спелости требуется соответственно 690 , 860 и 1030° . Результаты расчетов записываются по форме табл. 27.

Анализ таблицы показывает, что оптимальными сроками сева для станции Ключи является вторая декада мая.

В условиях недостаточного увлажнения расчет суммы эффективных температур производится с учетом условий увлажнения по формуле

$$A = \frac{83 + 7(h - 4)}{K_w}, \quad (32)$$

где K_w — отношение эффективных температур, требующихся при достаточном увлажнении ($W \geq 15$ мм в слое 0—10 см), к суммам

Агроклиматические условия проклевывания кукурузы при разных сроках сева

Номер и название станции	Срок сева	Вероятность заделки семян, %		Вероятность повреждения всходов семенами заморозками, %	Вероятность наступления фаз, %		
		в не-прогретую почву	в су-хую почву		молочной спелости	восковой спелости	поздней спелости
2. Ключи	21 IV	95	23	48	100	100	90
	1 V	73	27	29	100	100	86
	11 V	36	36	14	100	100	76
	21 V	14	91	0	100	81	57
	1 VI	0	91	0	100	67	38
	11 VI	0	100	0	81	33	5

эффективных температур, накопившихся за период при пониженных запасах влаги (< 15 мм).

Значения K_w при различных запасах продуктивной влаги W в слое почвы 0—10 см следующие:

W мм . . .	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
K_w	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,51	0,44	0,37	0,30

В пересчете на сумму эффективных температур выше 10° при приближенных расчетах могут быть использованы следующие константы [61]: 60° при заделке семян на глубину 5 см в умеренно увлажненной зоне и до 110° при заделке семян на глубину 10 см в степной засушливой зоне.

Следует иметь в виду, что для различных сельскохозяйственных культур количество факторов, учет которых необходим при расчете оптимальных сроков сева, зависит от биологических особенностей культуры. В частности, для сахарной свеклы очень важно, помимо увлажнения почвы, температурного режима и заморозков, учесть факторы, способствующие появлению цветухи в условиях Сибири являются низкие температуры, наблюдающиеся в течение 3—4 декад после посева, т. е. в период посев—3-я пара настоящих листьев. Благоприятной для появления цветухи будет температура ниже 10° в этот период.

По сумме температур (150° для периода посев—всходы и 330° для периода всходы—3-я пара настоящих листьев) рассчитывается возможная температура в течение 3—4 декад после посева для обоснования наиболее оптимальных сроков сева этой культуры.

Раздел 2. РАСЧЕТЫ ПО ОЦЕНКЕ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Влагообеспеченность растений определяется соответствием количества поступающей в него воды тому количеству, которое требуется растению в данное время для нормального роста и развития. Поэтому при оценке влагообеспеченности культуры необходимо знать потребность культуры во влаге для конкретных климатических условий и обеспечить этой потребности фактическими ресурсами влаги в этих же условиях.

Ниже приводятся способы расчета потребности сельскохозяйственных культур во влаге.

2.1. Потребность сельскохозяйственных культур во влаге и ее влагообеспеченность

В расчетах по влагообеспеченности культур в агроклиматологии часто пользуются формулой А. М. Алпатьева [4, 5]:

$$E = 0,65 \sum D, \quad (33)$$

где E — потребность в воде в миллиметрах, $\sum D$ — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха в миллиметрах за вегетацию, 0,65 — средний за вегетацию биологический коэффициент испарения.

Приведенная формула получена по данным учета валового расхода влаги яровыми зерновыми культурами на суглинистых почвах при влажности почвы не ниже 65—70% полной полевой влагоемкости в условиях высокой агротехники для лесных и лесостепных районов. В последующем [6] автор несколько уточнил биологический коэффициент испарения (0,57—0,66).

Достаточная надежность формулы вида $E = \sum D$ подтверждена многочисленными опытами на Украине [8, 9 и др.], в Грузии [98, 99, 112], в Казахстане [15, 32], на Северном Кавказе [51, 52, 58] и в других районах СССР. Работы по уточнению биологических коэффициентов показали, что K варьирует по зонам и провинциям соответственно местным природным условиям.

Средние за вегетацию биологические коэффициенты испарения для различных районов СССР систематизированы В. Г. Сиротенко по различным литературным источникам и приведены в табл. 28.

Для определения потребности во влаге любой культуры необходимо знать продолжительность вегетационного периода культуры (для зерновых — от посева до восковой спелости) и значение дефицита влажности за вегетационный период. В формуле Алпатьева сумма дефицитов влаги дается в миллиметрах, а в справочных материалах — в миллибарах, поэтому при вычислении потребности растений во влаге нужно предварительно сумму дефицитов, выраженную в миллибарах, перевести в миллиметры, для чего эту сумму нужно умножить на переводный коэффициент 0,75.

Таблица 28

Средние за вегетацию биологические коэффициенты испарения для различных районов СССР
(систематизированы В. Г. Сиротенко)

Район исследования	Автор	Озимая рожь	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Овес	Ячмень	Картофель	Кукуруза	Сахарная свекла	Лен	Подсолнечник	Овощные	Многолетние травы	Виноград	Хлопчатник
Пушкин (Ленинградская область)	А. М. Алпатьев [6]					0,64	0,60								
Ленинградская область	Э. А. Струнников [95]	0,75			0,85		0,81						0,71		
Центрально-нечерноземная зона	А. Д. Клещенко [40]						0,58	0,56							
Заволжье	Е. А. Малюгин и др. [56]			0,65											
Среднее Поволжье	Н. И. Быков [16]			0,65											
Волгоградская, Ростовская, Астраханская области	А. В. Процеров [77]						0,50		0,50						
Майкоп	А. М. Алпатьев [6]							0,56		0,73					
Краснодарский край, Ростовская область	Ю. С. Мельник [58]						0,62					0,61			
Юг Украины	С. М. Алпатьев [9]		0,57	0,51			0,50	0,50	0,56			Томаты 0,56 То же 0,56	Людцерна 0,60 Людцерна 0,65		
Юг Украины	Д. А. Штойко [116]		0,63			Ячмень + горох 0,56	0,54	0,52	0,52						
Украина, Центрально-черноземная зона	О. М. Конторщикова [42]								0,50						
Восточная Грузия (орошаемые районы)	И. А. Чхенкели [112]							0,56						0,34	0,43
Зайликий Ала-тау	Т. И. Турманидзе [100]														
Узбекистан (орошаемые районы)	Г. Г. Белобородова [15]			0,56			0,46	0,54							0,29
	А. К. Абдулаев [1]														

Примечание. Коэффициенты рассчитаны для $\sum D$, выраженной в миллиметрах.

Ниже приводится конкретный пример расчета потребности в воде яровой пшеницы за период от посева до восковой спелости по станции Земетчино Пензенской области [61]. Дата посева 5 мая, дата восковой спелости 3 августа. Значения дефицита влажности по декадам за этот период представлены в табл. 29. В первом приближении считаем, что в течение всей декады значения дефицита влажности одинаковы. Для подсчета суммы дефицитов влажности за весь период вегетации необходимо умножить средний декадный дефицит влажности на число дней в декаде, в течение которых растение вегетировало. Так, при посеве 5 мая и восковой спелости 3 августа средний декадный дефицит влажности за первую декаду мая нужно умножить на 5, а за первую декаду августа — на 3 дня. Во все остальные декады средний декадный дефицит умножается на число дней декады.

Таблица 29

Пример расчета суммы дефицитов влажности воздуха (мм) за период вегетации яровой пшеницы

Характеристика	Май			Июнь			Июль			Август	За весь период вегетации
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
Средний декадный дефицит влажности	5,8	7,0	8,1	9,2	9,8	9,9	9,2	8,5	8,0	7,8	—
Число дней вегетации по декадам	5	10	11	10	10	10	10	10	11	3	—
Сумма дефицитов влажности	29	70	89	92	98	99	92	85	88	23	765

Сумма дефицита влажности за период вегетации яровой пшеницы составляет 765 мм или 574 мм ($765 \cdot 0,75$). Потребность яровой пшеницы в воде за период вегетации по формуле Алпатвева равна 375 мм:

$$E \approx 0,65 \cdot 574 = 373 \text{ мм} \approx 375 \text{ мм.}$$

За этот же самый период нужно определить возможный суммарный расход влаги под культурой, т. е. расход влаги на транспирацию и на испарение с поверхности почвы. Возможный расход влаги на суммарное испарение можно определить по уравнению водного баланса:

$$P = r + f + W_1 - W_2, \quad (34)$$

где P — возможный расход влаги на суммарное испарение, r — осадки, f — сток, W_1 — запасы влаги на начало вегетации, W_2 — запасы влаги на конец вегетации.

Поверхностный сток в период вегетации культур практически бывает очень мал, им можно пренебречь. В результате возможный расход влаги определяют как сумму осадков и изменение влагозапасов в метровом слое почвы. Например, если на начало вегетации

яровой пшеницы 5 мая запасы влаги в почве равнялись 160 мм, а на конец вегетации 3 августа 60 мм, то изменение влагозапасов за период вегетации составит 100 мм.

При подсчете средней многолетней суммы осадков за период вегетации принимается, что осадки в течение каждой декады выпадают равномерно. Например, если посев был проведен 5 мая и за первую декаду выпало 12 мм осадков, то можно считать, что за вторую половину декады (с 6 по 10 мая) выпало 6 мм.

При средней многолетней сумме осадков за первую декаду августа 20 мм по станции Земетчино считаем, что за 3 дня августа выпало 6 мм осадков; всего за период вегетации яровой пшеницы (от посева до восковой спелости) выпало 160 мм. Следовательно, всего по станции Земетчино возможное испарение за период с 6 мая по 3 августа составляет $160 + 100 = 260$ мм. Для того чтобы определить влагообеспеченность яровой пшеницы, необходимо сопоставить потребность во влаге этой культуры, которая равна $K \sum D$, с фактическими ресурсами влаги, равными осадки плюс изменения влагозапасов за вегетационный период. По станции Земетчино потребность яровой пшеницы в воде составляет 375 мм, а возможный расход влаги на испарение 260 мм. Следовательно, влагообеспеченность яровой пшеницы будет равна $260 - 375 = -115$ мм, т. е. фактическое испарение меньше оптимального на 115 мм. Отсюда общий недостаток влаги за период вегетации яровой пшеницы равен 115 мм.

Территорию, по которой разность между фактическим и оптимальным испарением не превышает ± 50 мм, можно отнести к зоне с оптимальными условиями увлажнения. Районы с отрицательной разностью больше 50 мм относятся к зоне недостаточного увлажнения, с положительной разностью больше 50 мм — к зоне избыточного увлажнения.

Абсолютные разности между фактическим и оптимальным водопотреблением в первом приближении могут служить показателями оросительных норм сельскохозяйственных культур в районе орошения или показателями избытка влаги в районе осушения. Такая оценка условий увлажнения дается в процентах от оптимального. Для этого фактическое испарение (260 мм) выражают в процентах от оптимального (375 мм):

$$375 \text{ мм} - 100\% \\ x = \frac{260 \cdot 100}{375} = 70\%.$$

$$260 \text{ мм} - x$$

Следовательно, по данной станции яровая пшеница в среднем многолетнем обеспечена влагой на 70% оптимального увлажнения. Характеристика условий водоснабжения и влагообеспеченности культуры может быть дана также и на основе запасов почвенной влаги, рассчитанных по межфазным периодам этой культуры. Обычно используются многолетние материалы наблюдений за период не менее 10 лет. Полученные величины сопоставляются с по-

казателями оценки влагообеспеченности культур. Например, по С. А. Вериге [83], для озимых зерновых культур в период от выхода в трубку до цветения запасы продуктивной влаги меньше 80 мм в метровом слое суллинистых почв (40—50% наименьшей влагоемкости) бывают недостаточны. Запасы влаги 100—200 мм (60—100% наименьшей влагоемкости) заметно улучшают состояние растений.

В период закладки и формирования зерна при запасах влаги в метровом слое, близких к 25 мм (12—14% наименьшей влагоемкости), абсолютный вес зерна снижается на 30—50%. Этот критерий влагообеспеченности можно использовать для основной части земледельческих районов СССР. В южных районах с незасоленными почвами указанные запасы влаги могут обеспечить нормальный налив зерна за счет более глубокого проникновения корневой системы.

Ухудшение посевов вследствие полегания и сильного развития болезней и вредителей в этот период возможно при запасах больше 125 мм (>70% наименьшей влагоемкости). В период молочной спелости запасы влаги около 80 мм в метровом слое почвы обеспечивают нормальный налив зерна.

Вериге установила, что наиболее тесная связь урожай зерновых с запасами влаги наблюдается в период формирования колоса и цветка. Максимальные урожаи совпадают с запасами влаги в метровом слое почвы около 101—125 мм.

Оценку агроклиматических условий в период формирования колоса и цветка можно дать по табл. 30. Известно, например, что в том или ином районе максимальные урожаи в годы с хорошим увлажнением в период формирования колоса и цветка (запасы влаги 101—125 мм) составляют 20 ц/га. Следовательно, в районах с запасами влаги 25 мм и меньше урожай будут 3,6 ц/га (20·0,18). Более подробно с методикой оценки можно ознакомиться в работе [80]. Для яровых культур можно пользоваться методом А. В. Процера [80], а для сахарной свеклы методом О. М. Конторшиковой [80, 83].

Таблица 30

Оценка агрометеорологических условий
в период формирования колоса и цветка
(в относительных единицах)

25 и меньше	Запасы влаги, мм				
	26—50	51—75	76—100	101—125	125—150
0,18	0,46	0,70	0,86	1,00	0,74
					0,68

На основе всестороннего анализа условий влагообеспеченности культуры можно сделать вывод о степени обеспеченности культуры влагой, о сортах, которые по степени обеспеченности являются наиболее пригодными для возделывания на данной территории.

Обработка материалов по влажности почвы сводится к следующему [39, 78, 61 и др.]:

- 1) станции предварительно группируются по местоположению;
- 2) производится технический и критический контроль данных;
- 3) имеющиеся данные пополняются данными за пропущенные сроки наблюдений;
- 4) имеющиеся данные пополняются данными за пропущенные годы наблюдений;
- 5) выводятся средние многолетние величины и приводятся к одному периоду лет;
- 6) строятся графики многолетнего годового хода запасов продуктивной влаги;
- 7) рассчитываются вероятности запасов продуктивной влаги в почве на ту или иную фазу развития культуры;
- 8) рассчитываются данные по влажности почвы для станций, проводящих наблюдения;
- 9) картируются запасы продуктивной влаги в почве.

3.1. Группировка станций по местоположению

Местоположение станций может быть определено по описаниям в паспортах станций или в климатологических справочниках. Для этой цели используются также объективными методами.

Л. С. Семенова [85] разработала методику определения местоположения станций по анализу отдельных характеристик термического режима (по средним многолетним суммам температур и длительности безморозного периода).

Помимо общей группировки станций по местоположению, уточняется расположение наблюдательных участков на местности в каждом конкретном году по записям в полевых книжках. Эта работа проводится при техническом и критическом контроле материалов наблюдений над влажностью почвы.

3.2. Технический и критический контроль материалов наблюдений над влажностью почвы

Технический и критический контроль производится в соответствии с «Руководством по контролю и обработке наблюдений над влажностью и промерзанием почвы» (Л., Гидрометеоиздат, 1955). Практически эта работа должна быть сделана ранее в соответствии с порядком обработки и контроля материалов сети станций. При критическом контроле большое значение имеет группировка наблюдательных участков по типу и механическому составу почв, а также по местоположению.

Ряд наблюдений за многолетний период будет однородным в том случае, если наблюдения над влажностью производятся

ежегодно на участках с одинаковыми почвами по генезису, механическому составу и местоположению.

3.3. Пополнение имеющихся материалов данными за пропущенные сроки наблюдений

Многолетние средние показатели влажности почвы для каждой станции выводятся на основе материалов отдельных лет, представленных в виде годовых выводов. Ряды наблюдений, из которых выводятся средние, должны быть однородны по всем культурам, т. е. для данной станции они должны иметь одни и те же годы и сроки наблюдений. Это обеспечивает возможность сравнения водного режима почв по отдельным полям севооборота и по культурам.

При выведении многолетних средних прежде всего необходимо пополнить пропущенные сроки наблюдений. Расчеты должны производиться для каждого пропущенного срока наблюдений на основе зависимости изменений запасов влаги от условий погоды, представленных в виде графиков. При расчетах данные об осадках, температуре, фазе развития культуры берутся за период от предшествующего до пропущенного срока наблюдений, т. е. за период, для которого производится расчет.

При пополнении наблюдений над влажностью почвы в течение вегетационного периода следует пользоваться разработанными С. А. Вериго, С. Б. Мاستинской и Л. А. Разумовой расчетными графиками [78], подбирая их соответственно зоне расположения станций, а также соответственно культуре и фазе вегетационного периода. Но необходимо иметь в виду, что графики применимы для восстановления данных на участках с выровненным рельефом.

Расчетные графики построены следующим образом: по оси абсцисс отложены запасы продуктивной влаги предшествующей декады, по оси ординат — суммы осадков за декаду, для которой производился расчет. Изолинии соответствуют изменениям запасов влаги за декаду. Рядом с каждым графиком приведена табличка поправок к снятым с графика изменениям запасов влаги на температуру воздуха.

При расчетах изменений запасов влаги на графике следует найти точку пересечения перпендикуляров, восстановленных от абсциссы, соответствующей начальным запасам предшествующей декады, и ординаты, соответствующей количеству осадков, выпавших за декаду, для которой ведется расчет, и определить, какая из изолиний изменения запасов пересекает эту точку. Изолинии запасов на графике проведены через интервалы 5 мм; промежуточные значения должны определяться глазомерной интерполяцией с точностью до 1 мм. К полученной таким образом величине по табличке, находящейся рядом с графиком, должна быть внесена поправка на температуру.

Алгебраическая сумма величин, снятой с графика, и величин, выбранной из таблички поправок на температуру воздуха, будет

соответствовать изменениям запасов продуктивной влаги за декаду.

Если найденная таким образом величина изменения запасов влаги имеет положительное значение, она прибавляется к запасам предшествующей декады, если отрицательное, — вычитается. Подсчеты количества осадков производятся за десятидневку, началом которой служит дата предшествующего определения влажности почвы.

В соответствии с закономерностями, характерными для рассматриваемых выше графиков, пополнение недостающих данных о запасах продуктивной влаги в почве возможно по зерновым культурам

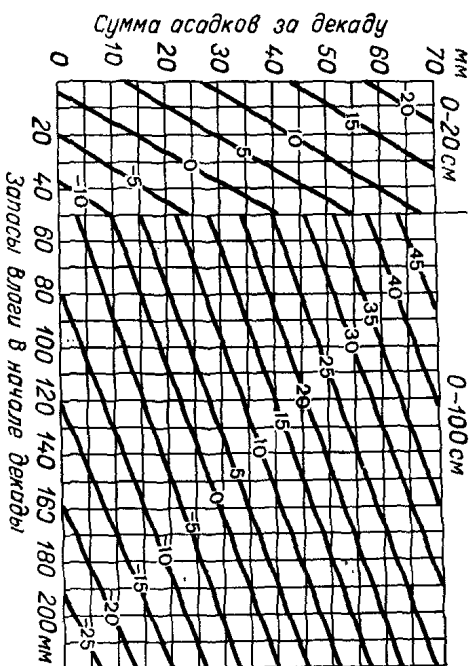


Рис. 34. Изменение запасов продуктивной влаги в зоне черномземных почв под яровой пшеницей в период формирования всходов и листьев (до выхода в трубку) в слое почвы 0—20 и 0—100 см (по С. А. Вериго и Л. А. Разумовой [78]).

для слоев почвы 0—20 и 0—100 см, по картофелю — для слоев 0—20, 0—50 и 0—100 см и по травам — для слоев 0—100 см.

Ниже приводится пример пополнения данных влажности почвы.

На станции А Чкаловской области имеется пропуск в наблюдениях над влажностью почвы под яровой пшеницей за третью декаду мая (28 мая). В период с 18 по 28 мая яровая пшеница была в фазе кущения. За этот отрезок времени выпало 4 мм осадков, средняя температура воздуха за третью декаду мая составила 17°. В предшествующую декаду (по наблюдениям 18 мая) запасы продуктивной влаги в слое почвы 0—20 см составляли 22 мм, в слое 0—100 см — 116 мм.

Для расчета соответственно местонахождению станции (зоне), культуре и фазе ее развития используем график (рис. 34). Для слоя почвы 0—20 см на этом графике находим точку пересечения абсциссы, соответствующей 22 мм запасов влаги к началу декады, и ординаты, соответствующей 4 мм осадков. Она совпадает

с линейной изменением запасов влаги за декаду, равной —5 мм. Следовательно, изменение запасов влаги за третью декаду мая (с 18 по 28 мая) составляет $(-5 \text{ мм}) + (-1 \text{ мм}) = (-6 \text{ мм})$. Таким образом, 28 мая запасы влаги в слое почвы 0—20 см будут равны 22 мм — 6 мм = 16 мм. Таким же способом делается расчет пополнения данных о запасах влаги в третью декаду мая в слое почвы 0—100 см.

Наблюдения над влажностью почвы на весну могут быть пополнены по уравнениям связи суммарного изменения запасов влаги за зимний и ранневесенний период в зависимости от количества осадков этого периода и дефицита влажности почвы осенью (по Л. А. Разумовой):

для зоны с неустойчивой зимой

$$y = 0,21x + 0,62h - 33, \quad (35)$$

для зоны с устойчивой зимой

$$y = 0,115x + 0,56h - 20, \quad (36)$$

где y — изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы за период от определения влажности в момент, близкий к установлению отрицательных средних суточных температур воздуха осенью (исходные запасы), до перехода температур воздуха через 5° весной; x — количество осадков за указанный период; h — дефицит запасов влаги в метровом слое почвы осенью (разность между наименьшей влагемкостью и осенними запасами влаги в почве). По уравнениям связи построены графики, облегчающие расчет данных [78].

Расчеты могут быть сделаны также и по уравнению А. В. Процера:

$$y = 69,67 - 0,615x,$$

$$r = 0,82 \pm 0,04,$$

$$\sigma_x = 18,63, \quad \sigma_y = 14,26; \quad (37)$$

здесь y — величина аккумулялируемых почвой осадков (в процентах от их общего количества), выпавших за период от последнего определения запасов влаги осенью до перехода температуры воздуха через 5° весной; x — насыщенность почвы влагой (в процентах от наименьшей полевой влагемкости) в момент последнего определения запасов влаги осенью, близкий к переходу средней суточной температуры воздуха через 0°; σ_x и σ_y — ошибки уравнения; r — коэффициент корреляции. Эта зависимость изображена на рис. 35.

Уравнение связи для зяби имеет вид:

$$y = 87,67 - 0,79x,$$

$$r = 0,946 \pm 0,018,$$

$$\sigma_x = 28,12, \quad \sigma_y = 24,54 \quad (38)$$

(обозначения те же, что и в предыдущем уравнении).

Полученные Процеровым зависимости можно использовать для расчетов ожидаемых запасов влаги во всех районах, где имеется устойчивое промерзание почвы зимой. Для районов с неустойчивым зимним промерзанием эти зависимости непригодны. Расчеты ожидаемых запасов влаги по методу Процера производятся следующим образом. На станции Бузулук запасы влаги

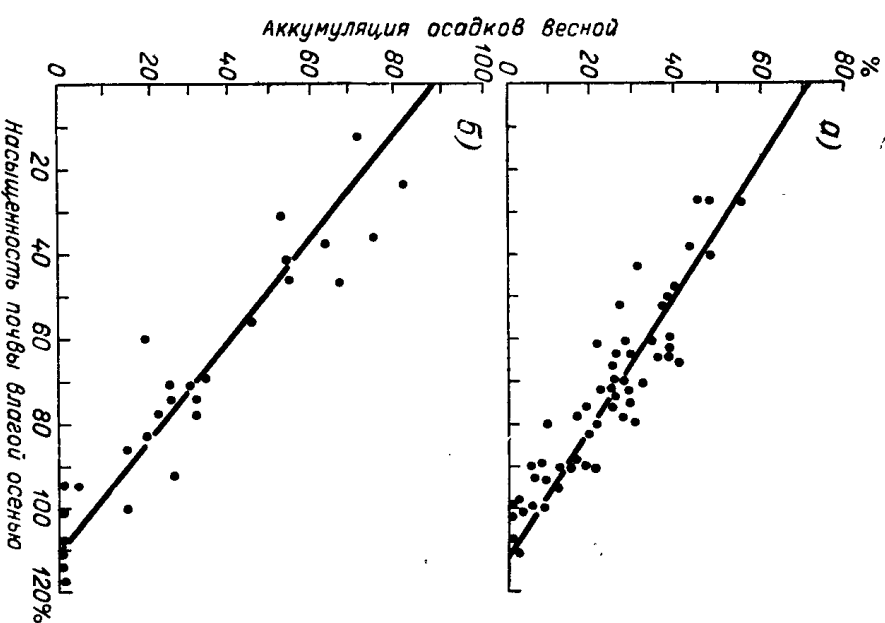


Рис. 35. Связь между насыщенностью почвы влагой осенью (в процентах от наименьшей полевой влагемкости) и количеством аккумулялируемых почвой осадков весной (в процентах от их общего количества, выпавшего за период промерзания—оттаивания почвы).

а — для разных агрофонов, б — для зяби (по А. В. Процерову [80]).

в последнее определение осенью под озимыми были 100 мм, под зябью — 50 мм. Наименьшая полевая влагемкость почвы составила 180 мм. В первую очередь рассчитывают осеннюю влагемкость почвы. В данном случае она составит под озимыми 56%, а под зябью 28% наименьшей полевой влагемкости. Далее по графику (рис. 35) определяют количество аккумулялируемых

почвой осадков под озимыми весной в процентах от общего их количества за холодный период. В данном случае это будет 37%. Общее количество осадков от последнего определения влажности почвы осенью до перехода средней суточной температуры воздуха через 5° равно 118 мм. Следовательно, 37% этого количества составляет 43,6 мм (округленно 44 мм). Таким образом, почва под озимыми аккумулирует весной 44 мм осадков, а запасы влаги к началу весны под озимыми будут равны 144 мм (100+44).

Под зябью при насыщенности почвы осенью до 28% наименьшей полевой влагоемкости аккумуляция осадков будет больше, чем под озимыми, и составит примерно 67% (расчет для зяби по графику на рис. 35), т. е. 79 мм. Запасы влаги к началу весны в метровом слое почвы будут составлять 129 мм (50+79).

Следует отметить, что в степных районах с сильной ветровой деятельностью в зимний период при расчете запасов влаги лучше пользоваться данными не об осадках, а о запасах воды в снеге.

В зоне высокого стояния грунтовых вод запасы влаги в почве в весенний период всегда превышают наименьшую влагоемкость почвы. Здесь они почти нацело определяются глубиной стояния грунтовых вод и верховодок. При пополнении рядов наблюдений над влажностью почвы в этой зоне запасы влаги весной в годы с пропущенными наблюдениями в первом приближении могут быть приняты равными средним запасам влаги к началу вегетационного периода, вычисленным по фактическим данным.

Указанным выше способом рассчитываются пропущенные данные за отдельные сроки наблюдения и вписываются в сводную таблицу «Многолетние данные запасов продуктивной влаги (мм) в слое почвы... см».

3.4. Пополнение имеющихся рядов данными за пропущенные годы наблюдений

При систематизации многолетних наблюдений может оказаться, что на станции по некоторым культурам отсутствуют данные по влажности почвы за отдельные годы. В таких случаях ряды наблюдений, относящиеся к разным культурам, необходимо привести к одному периоду, т. е. расчетным путем получить данные для пропущенных лет. Период, к которому приводятся данные, определяется длительностью наблюдений над культурой, имеющей самый длинный ряд. При этом в отношении влажности почвы следует учитывать, что система агротехнических приемов возделывания культуры в значительной степени сказывается на водном режиме почвы, поэтому для данной культуры однородными могут считаться наблюдения на полях с одной и той же агротехникой в течение ряда лет.

Так, при вычислении многолетних средних для озимых культур в зоне глубокого стояния грунтовых вод однородными можно считать лишь наблюдения на озимых, посеянных по чистым парам (черным и ранним), и ни в коем случае нельзя объединять ряды

наблюдений, относящихся к посевам по чистым парам (черным и ранним), с наблюдениями по поздним и занятым парам и по беспарью.

Для посевов яровых культур неоднородными рядами будут наблюдения на посевах по зяби, весновспашке и пару.

В зоне высокого стояния грунтовых вод и верховодок неоднородными по условиям увлажнения следует считать наблюдения, проведенные на участках с аномальным по отношению к другим наблюдательным участкам водным режимом, т. е. на нетипичных наблюдательных участках, отмеченных при критическом контроле. Наиболее часто аномальность водного режима почв отдельных участков в этой зоне обуславливается резким различием наблюдательных участков по глубине залегания грунтовых вод и верховодок и по почвенному покрову.

Наблюдения с аномальным водным режимом на нетипичных участках как вследствие неоднородности агротехники, так вследствие и самих особенностей этих участков не могут быть включены в подсчеты многолетних средних. Их следует рассматривать как годы с отсутствием наблюдений над влажностью почвы под данной культурой. Они подлежат пополнению расчетными величинами.

Можно рекомендовать два пути пополнения наблюдений за пропущенные годы [78].

1. Пополнение пропущенных величин дата за датой на основе метеорологических данных и зависимости изменений запасов продуктивной влаги почвы от условий погоды подобно тому, как это делается для пополнения отдельных пропущенных сроков. При применении этого метода для пополнения данных по влажности почвы в качестве исходных запасов следует принять запасы влаги в момент последнего определения влажности почвы на данном наблюдательном участке и в зависимости от местонахождения станции (зоны), культуры и фазы ее развития пользоваться соответствующими расчетными графиками, принимая каждый раз расчетные для предыдущего срока наблюдений запасы влаги за начальные для последующего. Возможно также использование и метода А. В. Процорова.

2. Пополнение пропущенных величин методом разниц. Этот метод применяется для расчета запасов влаги в том случае, когда отсутствуют наблюдения только по некоторым объектам (культурам).

Сущность его заключается в том, что за годы параллельных наблюдений выводится средняя разница запасов влаги для каждого срока под культурой, для которой пополняются данные, и культурой, имеющей полный ряд наблюдений. Разницы вычисляются за каждый срок наблюдений, затем алгебраически суммируются с запасами влаги, наблюдавшимися в этом году под культурой, имеющей полный ряд наблюдений. Полученными таким образом расчетными данными восполняется весь пропущенный год наблюдений.

Ниже приводится пример пополнения данными по влажности почвы за отдельные годы.

На станции А Саратовской области наблюдения над влажностью почвы под яровой пшеницей производились с 1936 по 1954 г. За 1938 г. наблюдения отсутствуют. Средние многолетние запасы влаги в метровом слое почвы под яровой пшеницей за этот период (т. е. за годы с 1936 по 1937 и с 1939 по 1954, всего за 18 лет) равны: в первой декаде мая 103 мм, во второй декаде мая 96 мм, в третьей декаде мая 85 мм и т. д.

На этой же станции Саратовской области период наблюдений над влажностью почвы под озимой пшеницей тот же (с 1936 по 1954 г.), причем имеются наблюдения и за 1938 г. Запасы влаги в метровом слое почвы под озимой пшеницей в этом году в первой декаде мая были 58 мм, во второй декаде мая 80 мм, в третьей декаде 69 мм и т. д.

Средние многолетние запасы за те же годы наблюдений, которые имеются и под яровыми (т. е. с 1936 по 1937 и с 1939 по 1954, всего за 18 лет), под озимыми в первую декаду мая равны 104 мм, во вторую декаду мая 98 мм, за третью декаду мая 86 мм и т. д.

Требуется по данным под озимыми пополнить данные влажности метрового слоя почвы под яровой пшеницей за 1938 г.

Сначала находим многолетние средние разности запасов под яровыми и озимыми за один и тот же период наблюдений (за период 1936—1937 и 1939—1954 гг., т. е. за 18 лет). Они равны: в первой декаде мая 103 мм—104 мм=—1 мм, во второй декаде мая 96 мм—98 мм=—2 мм, в третьей декаде мая 85 мм—86 мм=—1 мм и т. д. Затем, прибавляя алгебраически эти разности к имеющимся данным влажности почвы за 1938 г. под озими, вычисляем запасы влаги в 1938 г. под яровыми. Они равны: в первую декаду мая 58 мм+(—1)=57 мм, во вторую декаду мая

Таблица 31
Образец пополнения данных запасов продуктивной влаги под яровой пшеницей на станции А Саратовской области

Пополняемые данные	Май и т. д.		
	1	2	3
Средние запасы влаги (мм) в метровом слое почвы под яровой пшеницей за период 1936—1937, 1939—1954 гг. (за 18 лет)	103	96	85
То же под озимыми	104	98	86
Разницы запасов влаги (мм)	—1	—2	—1
Фактические запасы влаги (мм) в метровом слое почвы под озимыми в 1938 г.	58	80	69
Расчитанные запасы влаги (мм) в метровом слое почвы под яровой пшеницей в 1938 г.	57	78	68

80 мм+(—2)=78 мм, в третью декаду мая 69 мм+(—1 мм)=68 мм и т. д. Рассчитанными таким образом данными пополняется весь пропущенный год.

Расчеты удобно делать по форме, показанной в табл. 31.

Пополнение рядов следует начинать с объекта, по которому имеется наиболее длинный и полный ряд наблюдений над влажностью почвы. На преобладающей части территории такими объектами являются обычно озимые поля. Пополнение рядов по другим объектам целесообразно производить в том случае, когда эти пополняемые годы составят не более 20% принятого для обработки по этой станции периода наблюдений.

3.5. Выведение средних многолетних величин и приведение их к одному периоду

При систематизации и обработке многолетних рядов наблюдений составляется сводная таблица «Многолетние данные запасов продуктивной влаги (мм) в слое почвы... см». Эта таблица заполняется из года в год и в пределах года от срока к сроку. Если за какую-либо дату или год наблюдений данные отсутствуют, они заполняются расчетными величинами и помечаются особым знаком.

Таблица «Многолетние данные запасов продуктивной влаги (мм) в слое почвы... см» составляется отдельно для каждой культуры по слоям 0—10, 0—20, 0—50, 0—100 и 0—150 см. После того как таблицы многолетних данных будут заполнены, т. е. в них за все годы и за все сроки наблюдений вписаны фактические данные и во все пропуски вписаны расчетные данные, следует приступить к подсчету многолетних средних величин.

Для того чтобы обеспечить приемлемую для практического использования точность многолетних средних величин (по запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы с вероятной ошибкой порядка 10 мм), для основной земельной части СССР необходимо иметь ряды наблюдений не менее 7 лет [78]. В обработку включаются данные по влажности почвы за весь период наблюдений.

При выведении многолетних средних приходится ограничиться их вычислением из фактических и пополненных данных. При этом многолетние средние данные запасов влаги в почве могут считаться сопоставимыми в тех случаях, когда ряды наблюдений не меньше 7—10 лет, поскольку средние квадратические ошибки таких рядов приемлемы для практических целей (для запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы порядка ± 10 мм).

3.6. Построение графиков многолетнего годового хода запасов продуктивной влаги

Графики строятся на кальке в едином масштабе: на оси Y откладываются запасы влаги в миллиметрах, а на оси X — декады. Накладывая график на другой, станции группируются по типам водного режима почв.

3.7. Расчеты вероятности запасов продуктивной влаги в почве на ту или иную фазу развития культуры

Вероятность запасов продуктивной влаги рассчитывается для каждой культуры отдельно на дату наступления основных фаз развития. Для озимых, например, вероятность рассчитывается на дату сева, возобновления вегетации, колошения и высокой спелости.

Данные о вероятности запасов влаги для тех или иных средних величин снимаются с номограммы, которая строится для каждой культуры отдельно. Материалом для расчета служат данные годовых выводов о запасах влаги в почве, обработанные в соответствии с методическими указаниями по систематизации и первичной обработке данных о влажности почвы [78]. Для построения номограммы используются данные станции с периодом наблюдений над влажностью почвы не менее 15 лет.

Первоначально по выбранным станциям с различными средними многолетними величинами запасов влаги строятся интегральные кривые распределения запасов влаги в отдельные годы.

Интегральные кривые строятся по общему принципу. В рабочую таблицу (табл. 32) записываются запасы продуктивной влаги за каждый год в убывающем порядке. Рассчитываются средние многолетние запасы влаги, а также процентная обеспеченность по формуле

$$P_n = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (39)$$

где P_n — процентная обеспеченность, m — порядковый номер члена ряда, n — число наблюдений в ряду.

Таблица 32

Запасы продуктивной влаги (мм) различной обеспеченности в пахотном слое почвы к началу сева озимых. Ст. Безенчук

Годы	Запасы влаги, мм	Обеспеченность, %	Годы	Запасы влаги, мм	Обеспеченность, %
1919-20	34	3,6	1934-35	14	53,6
1945-46	28	7,1	1925-26	12	57,1
1943-44	24	10,7	1936-37	12	60,7
1918-19	22	14,3	1939-40	12	64,3
1924-25	22	17,9	1942-43	12	67,8
1926-27	22	21,5	1921-22	10	71,4
1935-36	22	25,0	1928-29	10	75,0
1922-23	20	28,6	1933-34	8	78,6
1941-42	19	32,1	1930-31	4	82,1
1914-15	18	35,7	1937-38	4	85,7
1927-28	18	39,3	1940-41	3	89,2
1944-45	17	42,8	1929-30	0	92,8
1923-24	16	46,4	1938-39	0	96,4
1946-47	15	50,0	Средние многолетние	15	

Данные таблицы наносятся на график: по оси абсцисс откладываются значения процентных обеспеченностей, а по оси ординат — возможные запасы влаги в почве. По точкам на графике проводится плавная кривая, соединяющая запасы влаги различной обеспеченности.

Рабочие графики обеспеченности можно строить по группе станций, как показано на рис. 36.

По кривым обеспеченности составляется таблица, используемая для построения номограммы возможных запасов влаги в отдельные годы в зависимости от средних многолетних величин (табл. 33).

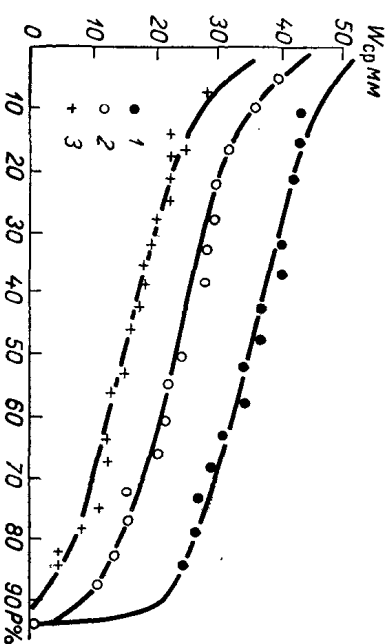


Рис. 36. Кривые обеспеченности P (%) запасов продуктивной влаги W (мм) по годам для различных станций.

Средние многолетние влагозапасы W ср.: 1 — Синельниково, 35,2; 2 — Чиммы, 22,9; 3 — Безенчук, 14,8 (по Л. С. Кельчевской [61]).

Таблица 33

Запасы влаги (мм) различной обеспеченности в пахотном слое почвы к началу сева озимых

Станция	Среднее значение, мм	Обеспеченность, %									
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Синельниково ¹	35	49	46	42	40	38	35	32	30	26	21
Горький	30	43	42	39	35	32	30	27	25	23	16
Савали	27	45	42	37	33	30	27	25	21	17	13
Чиммы ¹	23	40	36	30	27	25	23	21	18	14	9
Сарапул	21	39	33	28	25	23	21	18	16	13	10
Казань	17	33	31	27	23	20	17	14	11	9	5
Безенчук ¹	15	34	27	23	20	17	15	12	10	7	2
Красное Поселение	15	36	30	25	20	17	15	13	9	4	0
Бузулук	23	39	37	33	29	26	23	19	16	12	5
Полтава	32	46	44	41	37	34	32	29	25	23	21

¹ На рис. 36 показаны только эти станции, но при построении номограммы учитываются все.

Принцип построения номограммы следующий. На оси ординат указываются средние запасы влаги, а на оси абсцисс — возможные в отдельные годы. Соответственно средним многолетним данным у каждой станции в поле координат графика записываются значения обеспеченностей (5, 10, 20, 30% и т. д.). При этом каждое значение обеспеченности имеет свой условный знак (не тождественный знакам интегральной кривой). На пересечении средней многолетней величины с возможными запасами влаги различной обеспеченности ставятся условные значки, по которым проводятся линии, соединяющие одинаковые значения обеспеченностей.

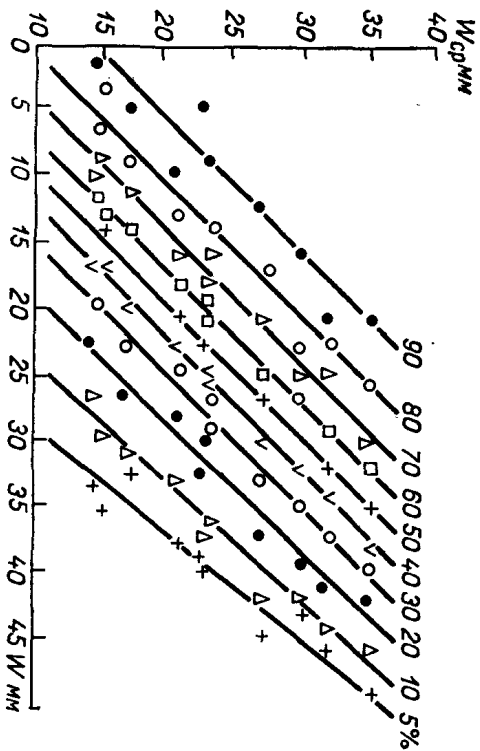


Рис. 37. Номограмма вероятности возможных запасов продуктивной влаги W в зависимости от средних многолетних величин $W_{ср}$ для озимых культур (по Л. С. Кельчевской [64]).

Номограмма строится отдельно по группам станций с различным типом годового хода запасов влаги, выявленного по графикам хода влагозапасов. С номограммы снимается вероятность возможных запасов влаги. Например, вероятность запасов влаги больше 10 мм при средних многолетних величинах 24 мм составляет 90% (рис. 37).

3.8. Пополнение сети станций данными по влажности почвы

Наблюдения над влажностью почвы проводятся на небольшом числе станций, поэтому при обработке материала сеть наблюдений целесообразно пополнить.

Для расчета осенних влагозапасов на сети станций могут быть рекомендованы вышедшие в свет методы А. В. Прокурова, С. А. Верито и Л. А. Разумовой. Может быть рекомендован также метод А. С. Конторщикова [43, 44]. Он применим для пополнения наблюдений средними многолетними данными запасов продуктивной влаги на конец осени на полях, занятых озимыми культурами

в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения. Средние многолетние величины продуктивной влаги в метровом слое почвы осенью рассчитываются по графикам (рис. 38) с использованием карты испаряемости Л. П. Серяковой [41] или по испаряемости для конкретного пункта, полученной по формулам Н. Н. Иванова или М. И. Будыко. Расчет испаряемости последними методами для конкретного пункта, на наш взгляд, будет давать более точные значения, чем при снятии этих значений с карты Серяковой.

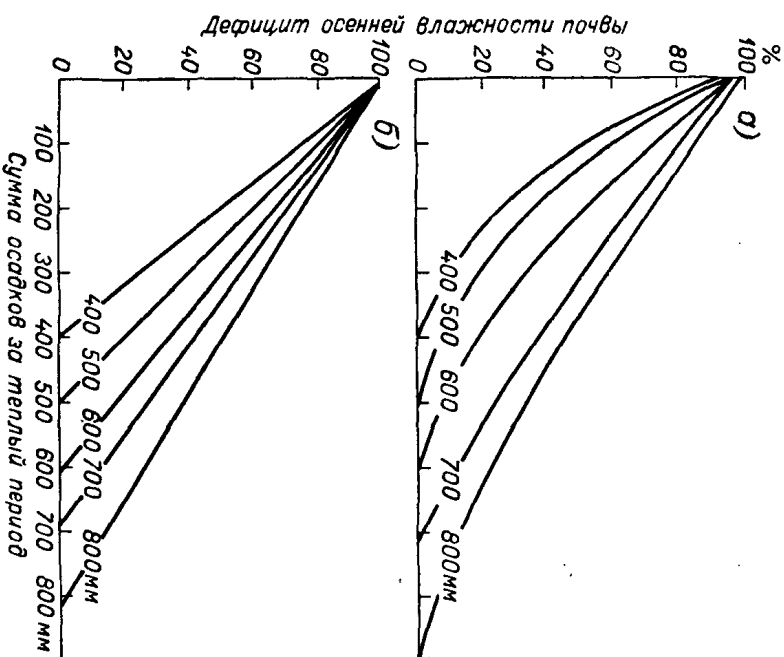


Рис. 38. Графики для расчета осенних запасов продуктивной влаги в метровом слое сушлинстых и сушепесчаных (а) и песчаных (б) почв (по А. С. Конторщику [43]).

Для вычисления запасов влаги на метеорологической станции подсчитывается сумма осадков за теплый период года и определяется величина наименьшей полевой влагоемкости для данной станции. Последняя может быть выписана из справочников по агропедологическим свойствам почвы, но могут быть использованы и осредненные данные, если наименьшую полевую влагоемкость в метровом слое для сушлинков принять равной 170—190 мм, для супесей — 150—170 мм, для песков — 80—120 мм. Техника расчетов не сложна. Ниже приведен пример расчета, который взят из работы А. С. Конторщикова [43].

Необходимо рассчитать средние многолетние осенние запасы продуктивной влаги в метровом слое перед уходом в зиму (на момент перехода средней суточной температуры через 5°) для Куйбышева.

Исходные данные для расчета.

1. Сумма осадков за теплый период от даты перехода средней суточной температуры воздуха через 5° весной до перехода температуры воздуха через 5° осенью по климатическим данным составляет 245 мм.

2. Наименьшая полевая влагоемкость продуктивной влаги в метровом слое почвы составляет 190 мм.

По карте Серяковой находим, что через Куйбышев проходит изогипсия испаряемости 545 мм. По этому значению и сумме осадков 245 мм на рис. 38 для суглинистых и супесчаных почв находим величину осеннего дефицита влажности почвы $d = 37\%$, т. е. в почве будет содержаться влаги 63% наименьшей полевой влагоемкости, равной 190 мм. Следовательно, влажность почвы будет равна примерно $120 \text{ мм} \left(\frac{190 \cdot 63}{100} \approx 120 \text{ мм} \right)$.

Нами рекомендуется также метод расчета осенних влагозапасов по графикам связи осенней влажности почвы с показателем увлажнения за предшествующий период, т. е. с июня по дату перехода температуры воздуха через 5° осенью. Преимущество этого метода заключается в наличии достаточного исходного материала и в простоте обработки данных. Работа по установлению связи может быть выполнена для конкретной территории. Однако при построении связи необходимо учесть, что удовлетворительные результаты могут быть получены как по средним многолетним, так и по годичным данным только при строгом учете типа и механического состава почвы, местоположения поля и глубины заделки грунтовых вод.

За показатель увлажнения может быть принят гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) или показатель, выраженный отношением суммы осадков к сумме дефицитов (мб) за указанный выше период.

Для дерново-подзолистых почв нечерноземной зоны в ИЭМ построены графики связи осенних влагозапасов под озимыми культурами на дату перехода температуры воздуха через 5° с ГТК за период с июня до даты перехода температуры через 5° (рис. 39). Были использованы средние многолетние данные наблюдений над влажностью почвы, осадками и суммой температур. Для этих же почв нечерноземной зоны были построены графики связи осенних влагозапасов с показателем увлажнения, который получен делением суммы осадков на сумму дефицитов (рис. 40).

Весенние влагозапасы могут быть восстановлены при наличии данных по наименьшей полевой влагоемкости методом С. А. Веригина и Л. А. Разумовой [78].

Для пополнения данных весенних влагозапасов по ЕТС в ИЭМ разработаны уравнения связи запасов продуктивной влаги в мет-

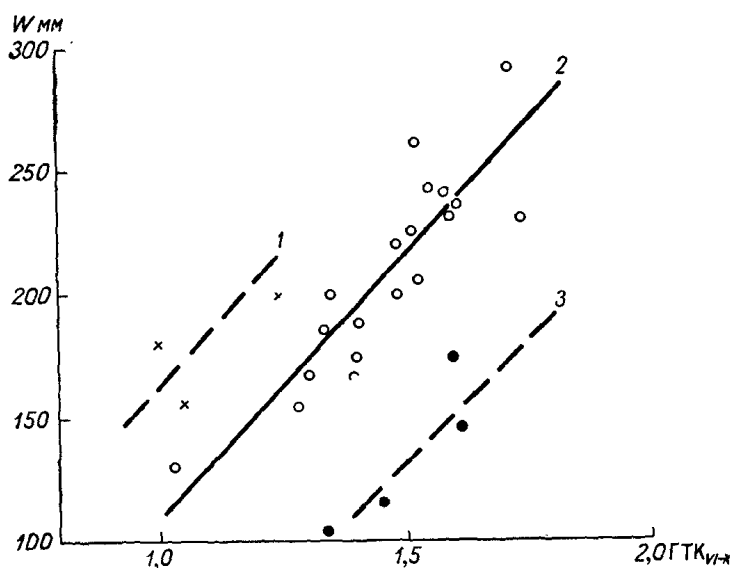


Рис. 39. Зависимость осенних запасов продуктивной влаги W в метровом слое под озимыми от ГТК $VI-X$ для нечерноземной зоны. Дерново-подзолистые почвы.

$r=0,88 \pm 0,5$; $y=211,98x - 101,49$; $S_y = +18,50$. 1 — тяжелосуглинистые почвы, 2 — суглинистые, 3 — песчаные.

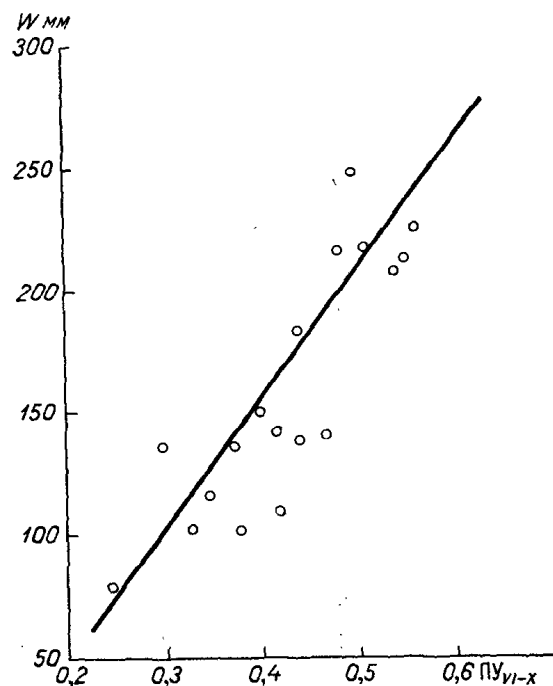


Рис. 40. Зависимость осенних влагозапасов в метровом слое почвы под зябью от показателя увлажнения $ПУ VI-X$ для нечерноземной зоны. Дерново-подзолистые почвы.

$r=0,88 \pm 0,06$; $y=544,98x - 62,14$; $S_y = \pm 26,50$.

ровом слое почвы на дату перехода температуры воздуха через 10° весной с максимальными запасами воды в снеге. Впервые попытка получить такие связи была сделана В. А. Сенниковым [86] для

Рис. 41. Номограмма для расчета коэффициента поглощения почвой осадков K в зависимости от осенней влагонасыщенности W метрового слоя почвы и количества осенне-зимних осадков T для лесостепи Украины. Зябрь под сахарную свеклу в свежловинном севообороте (по Л. С. Кельневской [37]).

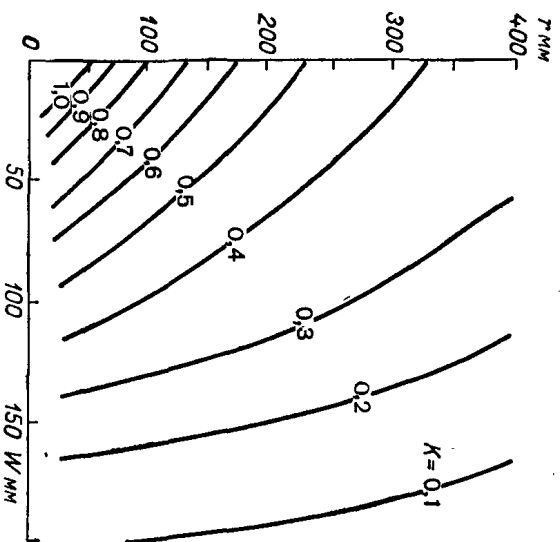
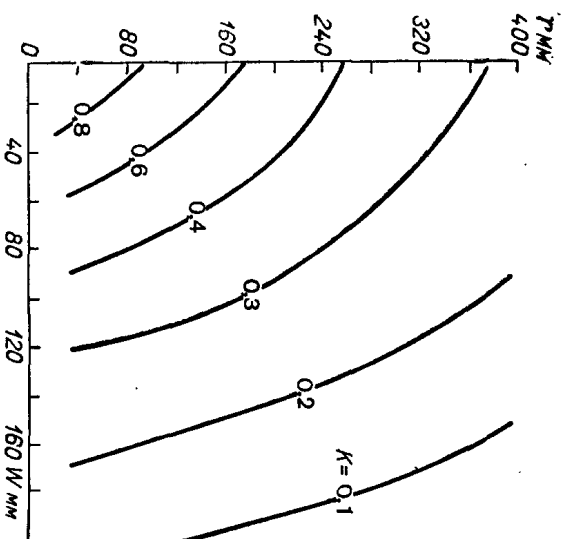


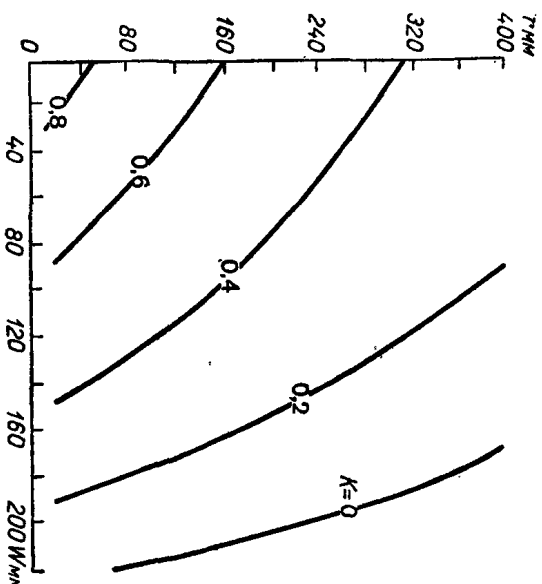
Рис. 42. Номограмма для расчета коэффициента поглощения почвой осадков K в зависимости от осенней влагонасыщенности W метрового слоя почвы и количества осенне-зимних осадков T . Зябрь под технические культуры: сахарная свекла, картофель (по Л. С. Кельневской [37]).

Сибири. Для расчета уравнений были использованы многолетние материалы наблюдений над влажностью почвы по 311 станциям ЕТС за период от 7 до 20 лет. По этим же станциям взяты из справочников по климату СССР многолетние данные о максимальных запасах воды в снеге. При установлении указанной зависимости учитывались следующие факторы: характер зимы, тип и ме-

ханический состав почв, водный режим почв и физико-географические особенности местоположения станции.

По почвенному покрову все станции группировались в соответствии с механическим составом и почвенной разностью. По характеру зимы (классификация Д. И. Шапко) станции относились к тому или иному типу зимы: мягкая, умеренно мягкая и умеренно холодная. Для группировки станций по водному режиму и годовому ходу влагозапасов использованы классификации С. А. Вериги, Л. А. Разумовой [18] и Г. Н. Высоцкого [21].

Рис. 43. Номограмма для расчета коэффициента поглощения почвой осадков K в зависимости от осенней влагонасыщенности W метрового слоя почвы и количества осенне-зимних осадков T . Зябрь под ранние яровые культуры: яровая пшеница, ячмень, овес (по Л. С. Кельневской [37]).



Местоположение и почвенный покров станций, располагающих данными о запасах воды в снеге, проверяются по картам (масштабная 1:2500 000). Затем соответственно по уравнению и запасам воды в снеге рассчитываются весенние запасы воды в метровом слое почвы.

Весенние влагозапасы могут быть рассчитаны по коэффициенту поглощения осенне-зимних осадков, полученному по номограммам (рис. 41, 42, 43) для суглинистых почв в условиях выровненного рельефа.

Расчеты весенних влагозапасов производятся по номограммам следующим образом. По коэффициенту поглощения осенне-зимних осадков определяется прибавка влаги в почве на весну. Например, осенние влагозапасы в слое 0—100 мм под зябью для технических культур составляют 100 мм, сумма осадков за период от осеннего определения влажности почвы до перехода температуры воздуха через 5° весной — 200 мм. По рис. 41 на пересечении осей абсцисс и ординат находят коэффициент поглощения осадков, равный 0,35. Следовательно, сумма осенне-зимних осадков, поглощенных почвой весной, составит 70 мм ($0,35 \cdot 200 \text{ мм} = 70 \text{ мм}$).

Запасы влаги в почве в слое 0—100 см будут равны 170 мм (100 мм + 70 мм \approx 170 мм).

При пополнении сети станций данными по влажности почвы рекомендуется пользоваться каким-либо одним методом, наиболее приемлемым для конкретных условий территории, предварительно апробировав его данными небольшого числа станций.

3.9. Картирование запасов продуктивной влаги в почве

Картирование влагозапасов в почве по территории проводится после нанесения значений влажности почвы (фактических и расчетных) на почвенную карту и анализа влияния рельефа и других факторов на их величину.

Предварительно перед картированием станции с данными о влагозапасах должны быть сгруппированы по типам почв. Это позволяет установить возможные колебания влажности почвы внутри почвенных разностей, а при больших различиях во влажности — выявить причины этих колебаний. Интервал влагозапасов в метровом слое почвы в однородных почвенных условиях определяется точностью вычисления средних величин запасов влаги и пространственной закономерностью их распределения. Нами предварительно установлено, что в масштабе 1:2500000 изменение запасов почвенной влаги для одной и той же почвенной разности с одинаковым механическим составом в однородных условиях рельефа и при одинаковой агротехнике составляет 25 мм.

Выделение районов различного увлажнения проводится контурно по типу и механическому составу почв в соответствии с данными по влажности почвы. Внутри однородных почвенных разностей при больших изменениях влагозапасов в связи с влиянием рельефа и других факторов районы различного увлажнения выделяются по данным влажности почвы с учетом высот (по изотипсам).

Пример. Картирование запасов влаги в метровом слое почвы по зби на дату перехода температуры воздуха через 10° весной (для центрально-нечерноземных областей). В процессе подготовки материала для картирования влагозапасов по территории центрально-нечерноземных областей рассматривались следующие факторы: климат, рельеф, составляющие водного баланса, почвенный покров и его механический состав. Ведущая роль в создании того или иного типа водного режима почв принадлежит атмосферным осадкам и испаряемости. Отношение суммы осадков к испаряемости с достаточной степенью может характеризовать условия, способствующие формированию того или иного водного режима почв. Г. Н. Высоцкий [21] установил следующие типы водного режима почв в зависимости от коэффициента увлажнения (KV): промывной ($KV > 1$), периодически промывной ($KV \approx 1$), непромывной ($KV = 1$) и выпотной ($KV < 1$ при близком залегании грунтовых вод).

На территории центральных областей климат различается в направлении с северо-запада на юго-восток. Границы климатических

зон достаточно хорошо определяются коэффициентом увлажнения KV . Значения коэффициента на северо-западе более 1,33, в центральной части 1,33—1,0 и на крайнем юго-востоке менее 1,0 (рис. 44).

По номограмме вероятности возможных коэффициентов увлажнения KV в зависимости от средних многолетних величин запасов влаги в почве (рис. 45) уточнены типы водного режима почв.

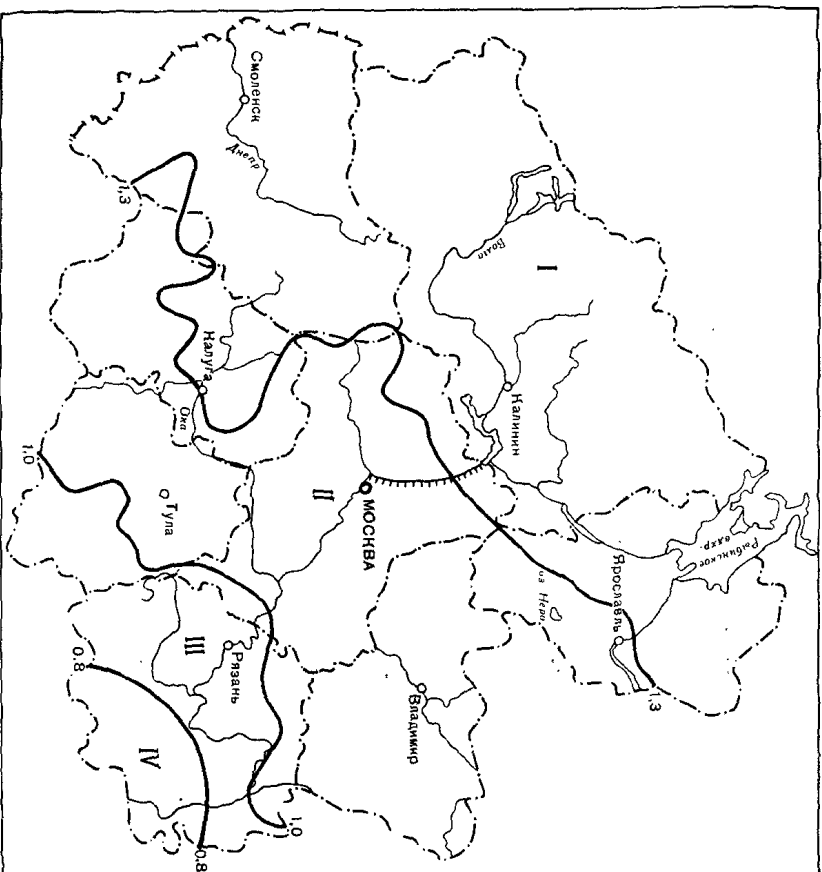


Рис. 44. Схема районов с наиболее вероятным типом водного режима почв по коэффициенту увлажнения KV для нечерноземной зоны [39]. I — промывной, II — промывной и периодически промывной, III — периодически промывной, IV — непромывной. Границы районов определяются значениями KV (1,33; 1,0; 0,8).

В районах со средними значениями коэффициента увлажнения 1,33 в 85% лет возможны показатели более единицы. Следовательно, для данных районов характерен промывной тип водного режима почв.

В районах с $KV = 1,33 \div 1,0$ на севере преобладает в основном промывной тип водного режима почв, в центральной части также в большинстве лет (60%) наблюдается промывной тип водного режима, на юге тип почв периодически промывной, так как в 50% лет коэффициент увлажнения равен 1,0, а в 50% лет он меньше 1,0.

На крайнем юго-востоке со средним многолетним коэффициентом увлажнения, равным 0,8 в 80 % лет, возможны его значения в пределах около 0,6. Эти значения соответствуют лесостепной черномоземной зоне с непромытым типом водного режима почв.

Рассматриваемая территория расположена в центральной части обширной Русской равнины. Поверхность ее слабохолмистая, пересеченная многочисленными оврагами, долинами рек и грядами холмов, служащих водоразделами. Значительное многообразие форм рельефа оказывает большое влияние на почвообразовательный процесс и водный режим почв. По природным условиям территории относится к двум зонам: лесной, занимающей большую

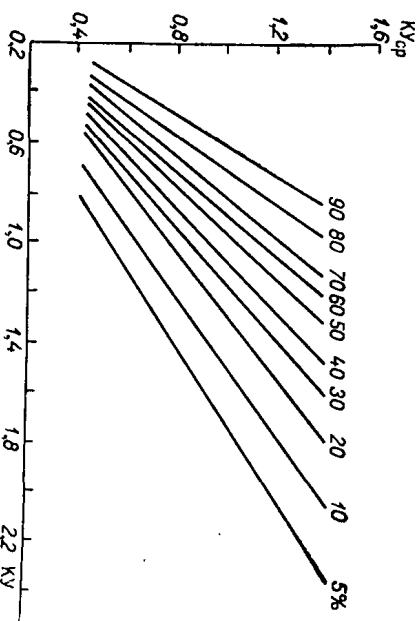


Рис. 45. Номограмма вероятности возможных коэффициентов увлажнения K_u в зависимости от средних многолетних величин $K_{u_{ср}}$ (по Л. Г. Маманову [62]).

ее часть, и лесостепной — к югу от реки Оки, которая служит границей между ними.

Из составляющих водного баланса наибольшее влияние на водный режим почв центрально-нечерномоземной зоны оказывают осадки. Атмосферные осадки территории определяются главным образом циклонической деятельностью, которая больше всего проявляется в северо-западной части и ослабевает в юго-восточном направлении. Соответственно изменяется по территории и количество осадков. Однако плавность изменения осадков нарушается влиянием подстилающей поверхности. Под влиянием возвышенностей (Валдайской, Среднерусской и др.) происходит перераспределение осадков — увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных.

Западная и северные части территории (Смоленская, Калининская и Ярославская области) относятся, по описанию климатологов, к зоне избыточного увлажнения: западная часть в результате значительного влияния Атлантики, а северная — за счет меньшего испарения. Юго-восточная часть (юг Рязанской области) — это зона с неустойчивым или переменным увлажнением. Остальная

часть территории (центральная и южная) относится к зоне достаточного увлажнения.

Количество осадков убывает в направлении с северо-запада и запада на восток и юго-восток от 750 до 450 мм в год. Наибольшее количество осадков (700—750 мм) имеет место на западных склонах Валдая (юго-запад Калининской области). На большей части Валдайской возвышенности, на западных склонах Смоленско-Московской гряды, на Среднерусской возвышенности и на возвышенных местах Клинско-Дмитровской гряды выпадает 600—700 мм осадков.

Наблюдающаяся пятнистость в распределении осадков по территории связана с неровностями рельефа, в частности с наличием плоских возвышенностей (Валдайской, Среднерусской, Смоленско-Московской), у которых высота в сотни раз меньше оснований. На наветренной стороне возвышенностей выпадает наибольшее количество осадков, на подветренной — наименьшее. На склонах указанных возвышенностей, в местах, наиболее открытых для влажных западных и юго-западных ветров, увеличение осадков в зависимости от высоты составляет приблизительно 60 мм в год на 100 м высоты. На западных наветренных склонах осадки увеличиваются в среднем примерно на 14 % по сравнению с равниной, а на восточных предветренных уменьшаются на 23 % по сравнению с максимальным количеством осадков на возвышенности.

Большое значение в формировании весенних влагозапасов имеют зимние осадки, вернее снежный покров. Максимальной величиной он достигает на рассматриваемой территории в первой — второй декадах марта. Средняя из наибольших декадных высот снежного покрова за зиму на защищенных от ветра местах составляет на крайнем северо-востоке 60—65 см, на большей части территории — 45—50 см и только на крайнем юго-востоке — около 40 см.

Распределение запаса воды в снежном покрове по территории, как и распределение его высоты, отличается большой пестротой, но общая закономерность уменьшения с севера на юг выражена достаточно четко. На большей части территории максимальный запас воды в снежном покрове составляет 80—100 мм и лишь на восточном побережье Рыбинского водохранилища достигает 124 мм.

При рассмотрении почвенных особенностей территории (по почвенной карте масштаба 1:2500 000, изданной в 1947 г. Главным управлением геодезии и картографии) обнаруживаются изменения почв соответственно изменениям климатических условий, рельефа и материнской породы.

В западной части (юго-запад Калининской области и северо-запад Смоленской), где под влиянием западных склонов возвышенностей имеет место наибольшее количество осадков, распространены торфяно-глеевые, торфяно-подзолисто-глеевые и дерново-слабоподзолистые почвы. Эти же почвы имеются и на севере территории. Особенно заболоченная местность отмечается в центральной

Характеристика водного режима почв центрально-ищчерноземных областей

Тип водного режима	Тип годового хода влагозапасов (по С. А. Вериге и Л. А. Разумовой)	Природно-климатическая зона	Область	Станция	Тип и механический состав почв
Промывной и периодически промывной, $KU = 1,33 \div 1,0$	Тип обводнения. Высокое стояние грунтовых вод. Верхняя граница капиллярной каймы отрывается от поверхности на 2—3 месяца и даже на супесчаных почвах не уходит глубже 50 см. Весной запасы продуктивной влаги 225—250 мм и больше в метровом слое почвы. Минимум запасов влаги наблюдается в конце июля—начале августа и не опускается ниже 160 мм	Тажено-лесная и лесная	Северо-запад территории: Калининская, Смоленская, север Ярославской и часть Калужской области	Вязьма, Смоленск, Вельж, Шокино, Савелово, Тургиново, Осташков, Белый, Пошехонье-Володарск, Калуга, Малоярославец, Сухиничи	Дерново-подзолистые глеевые и глееватые, дерново-сильноподзолистые и дерново-среднеподзолистые почвы в пониженных заболоченных равнинах с близким залеганием грунтовых вод
	Тип капиллярного увлажнения. Верхняя граница капиллярной каймы в большинстве случаев в течение года находится в корнеобитаемом слое почвы. Максимум запасов влаги наблюдается весной 175—200 мм, минимум в июле — начале августа — около 80—100 мм	Лесная и лесостепная	Центральная часть территории: Ярославская, Московская, юг Калининской, юго-запад Смоленской, Владимирская, Калужская, большая часть Тульской и Рязанской	Ростов-Ярославский, Углич, Михнево, Немчиновка, Собакино, Починки, Куровское, Коломна, Владимир, Александров, Спас-Деменск, Тула, Рязань, Сасово, Михайлов, Тума	Дерново-сильно-средне- и слабоподзолистые, светло-серые и серые лесные почвы
Непромывной $KU = 1,0 - 0,8$	Тип полного весеннего промачивания. Залегание грунтовых вод глубокое, капиллярная кайма не достигает корнеобитаемого слоя. Максимальные запасы весной составляют 175—150 мм, к концу июля—началу августа понижаются до 60—70 мм	Лесостепная	Крайний юго-восток территории: юго-восток Рязанской области	Елатьма	Темно-серые лесные, черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные

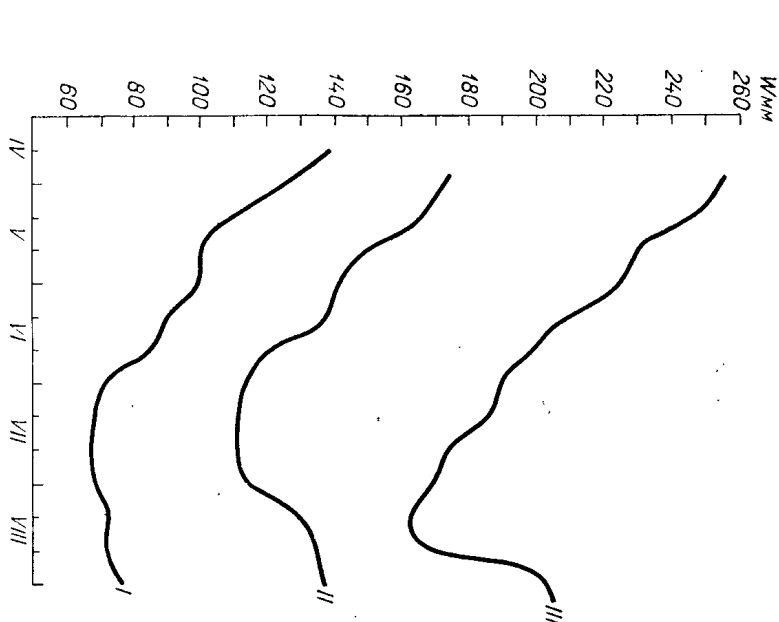


Рис. 46. Динамика запасов продуктивной влаги W в метровом слое почвы под збью.
 I — тип полного весеннего промачивания, II — тип капиллярного увлажнения, III — тип обводнения.

Для северной и центральной частей территории характерны дерново-подзолистые почвы разной оподзоленности (сильно, средне и слабо), которые на юго-западе переходят в серые лесные почвы. Серые лесные почвы частично распространены на востоке Калининско-Дмитровской гряды. Эти почвы относятся к подтипу периодически промывного режима ($KU \approx 1$), который характеризуется тем, что при атмосферном и частично

части Калининской области, а также на Мещерской низменности.
 Водный режим этих почв промывной ($KU > 1,33$) полуобводного типа. Здесь имеет место постоянное почвенно-капиллярное увлажнение. Влажность почвы в верхних горизонтах колеблется от полной до наименьшей влагоемкости.

Данные для составления карты запасов продуктивной влаги в слое почвы 0—100 см для центрально-нечерноземных областей

Станция	Вы-со-та, м	Запасы воды в снеге, мм	Запасы про-дуктивной влаги в почве, мм		Тип почв	Механический состав почв
			факти-ческие	расчет-ные		
Ярославская область						
Владычное	140	134		245	Сильнопodzолистые и подзолы	Средне- и легкосуглинистые
Пошехонье-Володарск	109	144	253		Сильнопodzолистые и подзолы	Средне- и легкосуглинистые
Данилов	155	126		234	Сильнопodzолистые и подзолы	То же
Ярославль	98	99		202	Дерново-слабо- и среднеподзолистые (заболоченные)	„
Углич	124	123	181		Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные
Ростов-Ярославский	99	87	190		Дерново-слабо- и среднеподзолистые (есть аллювиальные) и торфяно-глеевые	Суглинистые
Переславль-Зелесский	174	94		180	Светло-серые, серые лесные, опodzо-ленные	Средне- и легкосуглинистые
Калининская область						
Кесьма	194	131		240	Дерново-слабо- и среднеподзолистые (рядом подзолы и болотные почвы)	Средне- и легкосуглинистые
Красный Холм	166	116		226	Дерново-слабо- и среднеподзолистые (рядом подзолы и болотные почвы)	То же
Бологое	187	96	169		Типичные слабо- и среднеподзолистые	Песчаные
Максатиха	139	113		220	Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные
Бежецк	140	88		188	Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Средне- и легкосуглинистые
Вышний Волочек	167	88		192	Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные
Толмачи	186	111		216	Дерново-сильнопodzолистые	Средне- и легкосуглинистые и супесчаные рядом
Кашин	137	91		195	Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Средне- и легкосуглинистые
Осташков	218	88	227		Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные и средне- и легкосугли-нистые
Кувшиново	252	106	172		Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные и средне- и легкосугли-нистые
Торжок	171	101	164		Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные
Савелово	122	97	223		Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные, рядом средне- и легко-суглинистые
Калинин	136	89		176	Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Песчаные и супесчаные
Старица	179	91		178	Дерново-слабо- и среднеподзолистые (рядом аллювиальные)	Средне- и легкосуглинистые
Тургиново	130	94	218		Дерново-сильнопodzолистые, подзо-листо-болотные, дерново-слабо- и среднеподзолистые	Песчаные и супесчаные
Торопец	187	105	128		Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Супесчаные
Западная Двина	200	114		168	Дерново-слабо- и среднеподзолистые	Песчаные

дополнительном поверхностном водном питании глубокое (сквозное) промачивание бывает только весной и то не ежегодно. Влажность почвы колеблется от наименьшей влагоемкости до влажности завядания. Более частое промачивание с большим внутрипочвенным стоком свойственно светло-серым, а затем серым почвам. На юго-востоке территории встречаются темно-серые лесные почвы и черноземы оподзоленные, которые также относятся к подтипу периодически промывного режима, но сквозное промачивание почвы бывает реже. Запасы продуктивной влаги здесь в отдельные годы бывают меньше наименьшей полевой влагоемкости.

На большей части территории механический состав почв довольно пестрый. И только на крайнем юге преобладающими являются почвы тяжелого механического состава.

По графикам динамики влажности почвы за вегетационный период на рассматриваемой территории выделяются следующие агрогидрологические зоны: зона полного весеннего промачивания, зона капиллярного промачивания и зона обводнения. На рис. 46 показаны основные типы водного режима. Для установления типа годового хода запасов влаги такие графики были построены для всех станций, ведущих наблюдения над влажностью почвы. В результате анализа графиков оказалось возможным сгруппировать станции соответственно типам водного режима почв (табл. 34).

Таким образом, анализ всех факторов, определяющих режим влажности почвы, а также фактических данных наблюдений над влажностью по ряду станций позволил дать обобщенную характеристику водного режима почв центрально-нечерноземных областей.

Для картирования влагозапасов использованы материалы фактических наблюдений над влажностью почвы, а также восстановленные. Для пополнения сети станций использованы уравнения связи запасов влаги в почве с запасами воды в снежном покрове.

В результате обработки фактических наблюдений над влажностью почвы и пополнения сети станций расчетными данными было получено достаточное количество случаев (90 станций), позволяющих с необходимой точностью произвести картирование влагозапасов. (Данные по запасам влаги, используемые для картирования, приведены частично в табл. 35.) Исходные значения (фактические и расчетные) наносились на почвенную карту данной территории в масштабе 1 : 2 500 000. Соответственно типу почв, механическому составу, климатическим условиям и физико-географическим особенностям территории выделялись районы различного увлажнения. В большинстве случаев изолинии проходят по границам почвенных разностей, а в пределах однородных по типу и механическому составу почв интерполируются по данным влажности почвы с учетом климата (показателя увлажнения и осадков) и гипсометрии.

На территории центрально-нечерноземных областей по влажности выделено семь районов (рис. 47): 1) 250 мм, 2) 250—225 мм, 3) 225—200 мм, 4) 200—175 мм, 5) 175—150 мм, 6) 150—125 мм, 7) 125—100 мм. Отдельно выделены дерново-глеевые, подзолисто-

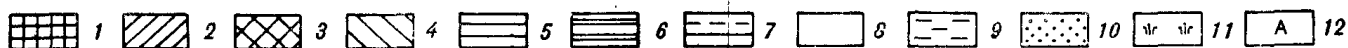
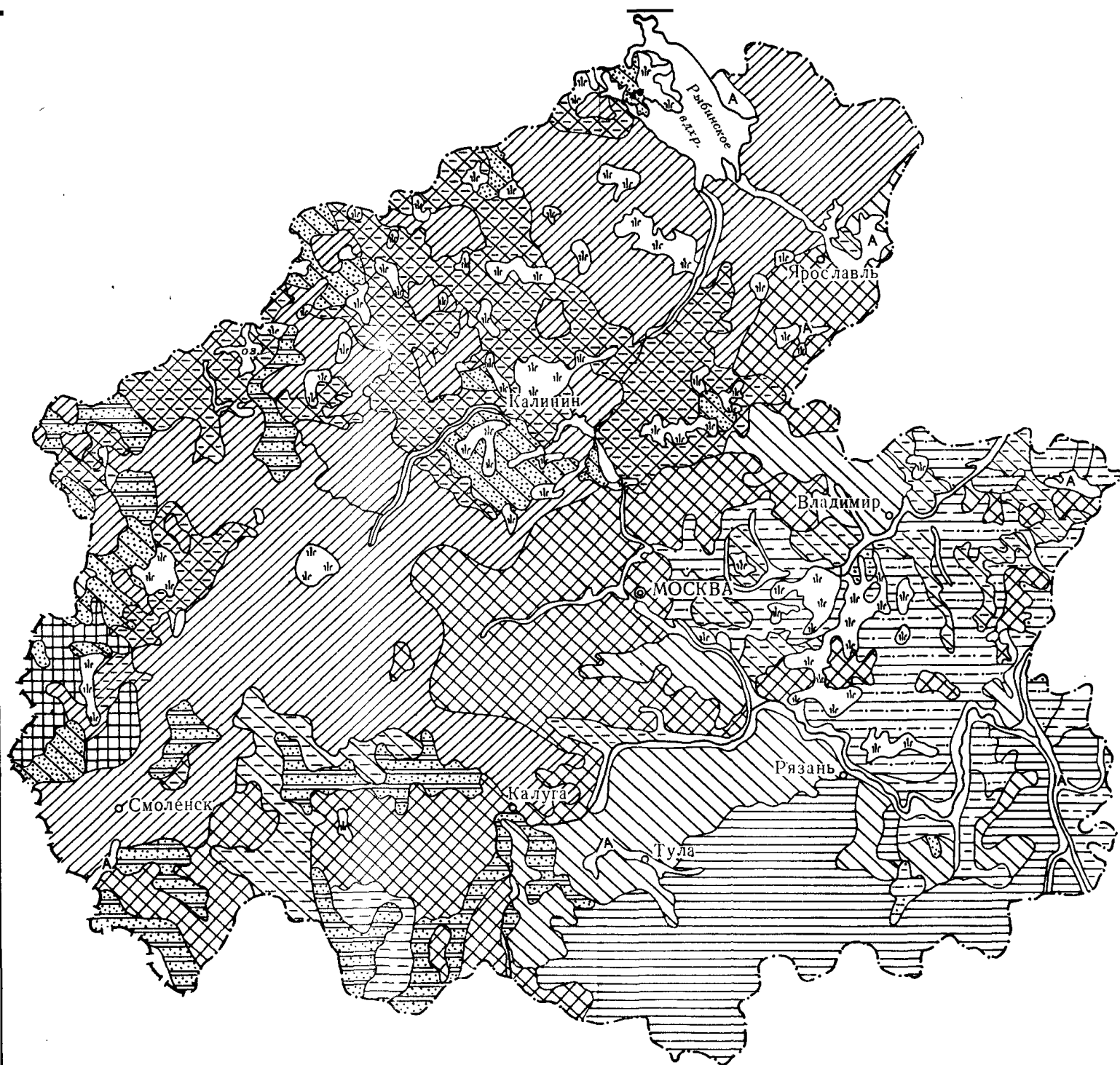


Рис. 47. Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы под зябью ко времени перехода средней суточной температуры воздуха через 10° весной (центрально-нечерноземная область) [39].

1 — >250 мм, 2 — 250—225 мм, 3 — 225—200 мм, 4 — 200—175 мм, 5 — 175—150 мм, 6 — 150—125 мм, 7 — 125—100 мм; 8—10 — механический состав почв: 8 — суглинистые, 9 — супесчаные, 10 — песчаные почвы заболоченные и речных пойм; 11 — подзолисто болотные, торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые, 12 — аллювиальные.

глиевые и болотные почвы. В сельском хозяйстве они используются слабо и определений по влажности почвы для них нет. Из литературных источников известно, что запасы влаги на этих почвах соответствуют полной и наименьшей влагоемкости.

Не представляется возможным дать точную количественную оценку запасов влаги для аллювиальных почв. Однако при анализе данных по влажности почвы для отдельных станций установлено, что запасы влаги этих почв несколько выше запасов влаги того района увлажнения, в пределах которого они находятся.

Раздел 4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ КАРТИРОВАНИЕ

4.1. Приведение фенологических наблюдений к однородному многолетнему ряду

Обработка фенологических материалов для агроклиматических целей, составления справочников, календарей природы и сельского хозяйства, а также для выполнения ряда других работ, требующих сопоставимости данных на той или иной территории, имеет свои особенности. По всем станциям, наблюдения которых предполагается включить в обработку, данные должны быть приведены к одному и тому же ряду лет. Если фенологический материал достаточно однороден по срокам сева (по годам они близки к оптимальным) и имеет небольшое количество пропусков в наблюдениях, средняя многолетняя дата подсчитывается после критического контроля данных, пополнения пропущенных дат отдельных фаз и проверки по сортовой однородности.

Пропуски дат отдельных фаз развития восстанавливаются, если отметка фазы пропущена наблюдателем. Если же ритм развития растений нарушен в результате повреждения, недостатка влаги в почве или по другим причинам, восстановление дат не производится.

Восстановление пропущенных сроков наблюдений делается: 1) методом разностей, 2) по сумме температур, 3) картографированием. Для восстановления пропущенных дат методом разностей сопоставляются данные станций, не слишком удаленных друг от друга и расположенных в пределах района с однородным ландшафтом. Разности между соответствующими датами приводимых пунктов можно считать достаточно устойчивыми, если в отклонениях преобладает один знак (плюс или минус).

В табл. 36 и 37 дается пример приведения пропущенных дат зацветания черемухи (по Малышевой). Преобладающим знаком в отклонении является плюс, следовательно, даты одного пункта можно приводить к датам другого. Этот метод позволяет получать даты с точностью до ± 2 суток.

В районах достаточного увлажнения восстановление пропущенных дат может быть осуществлено по установленным температурным константам скорости развития. Обязательным условием в данном случае является близость расположения пунктов фенонаблюдений от метеостанций и хорошая влагообеспеченность, причем в районах с разнообразными типами почв требуется вычисление поправочных коэффициентов (будка—точка роста). Особенно это замечание относится к районам нечерноземной полосы.

Таблица 36
Восстановление пропущенных дат одной станции по датам соседней (Валдайский физико-географический район)

Станция	Дата зацветания черемухи					Средняя разн-ца, сутки
	1958	1959	1960	1961	1962	
Валдай	27 V	11 V	18 V	21 V	23 V	
Мамоновщина	—	13 V	20 V	20 V	—	
Разница, сутки		+2	+2	—1		+1

Таблица 37
Сопоставление фенодат двух станций Валдайского физико-географического района

Станция	Дата зацветания черемухи					Средняя разн-ца за 5 лет
	1958	1959	1960	1961	1962	
Валдай	27 V	11 V	18 V	21 V	23 V	
Мамоновщина	28 V	13 V	20 V	20 V	24 V	
Средняя разница, сутки	+1	+2	+2	—1	+1	+1

Одним из способов контроля восстановленных дат и пополнения данных является составление карт за отдельные годы. Сущность картографического контроля заключается в следующем: весь материал для соответствующей фазы наносится на топографическую карту (масштаб 1 : 1 000 000). Если предоставится возможным, используется рабочая карта более крупного масштаба.

Технически весь фенологический материал группируется по соответствующим датам, укладываемымся в определенный интервал (например, через 5 дней), и различной раскраской или штриховкой наносится на гипсометрическую карту (рис. 48). Принятые обозначения наглядно помогают обнаружить большие отклонения от по-

казаний соседних станций. Тщательное изучение этих отклонений путем логических рассуждений и путем совмещения фенологических карт с физико-географическими и почвенными (одинакового масштаба) помогает объективно подойти к выбраковке некоторых дат, которые не подтверждаются ни анализом карт, ни показаниями соседних станций.

Отклонения дат возможны в случаях расположения полей на склонах возвышенностей, что ведет к некоторому отставанию в сроках наступления фаз. Даже небольшие различия в экспозиции и

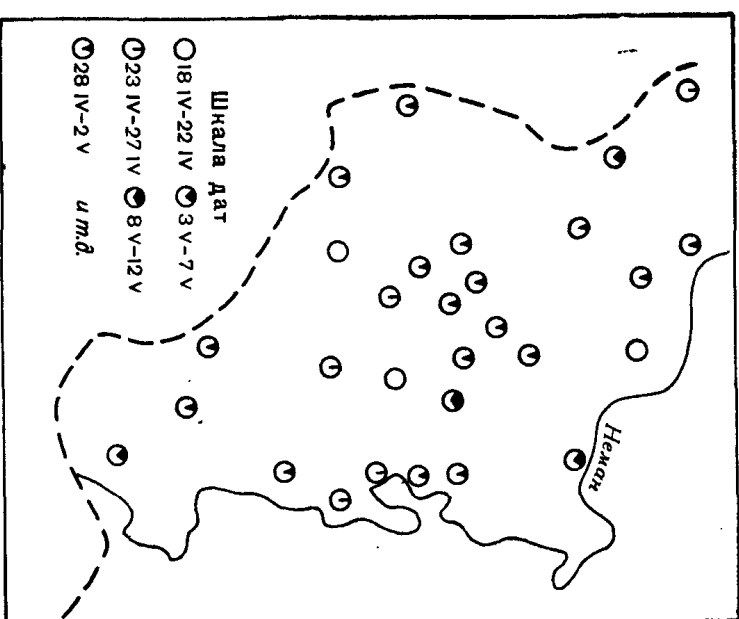


Рис. 48. Фрагмент рабочей основы с фенодатами; момент нанесения материала на карту (юго-западная часть Литовской ССР).

форме рельефа, наблюдаемые в наиболее однородных физико-географических условиях, также влияют на сроки наступления фаз.

Последующий этап обработки фенологических карт заключается в разбивке картируемой территории на природные районы. Для этой цели целесообразно использовать схему физико-географического районирования. Контуры физико-географических районов должны быть нанесены на карту с фенодатами (рис. 49). Затем вычисляются средние районные даты и отклонения каждой первичной даты от этой средней. Средняя районная дата A вычисляется по формуле

$$A = \sum a_n / n,$$

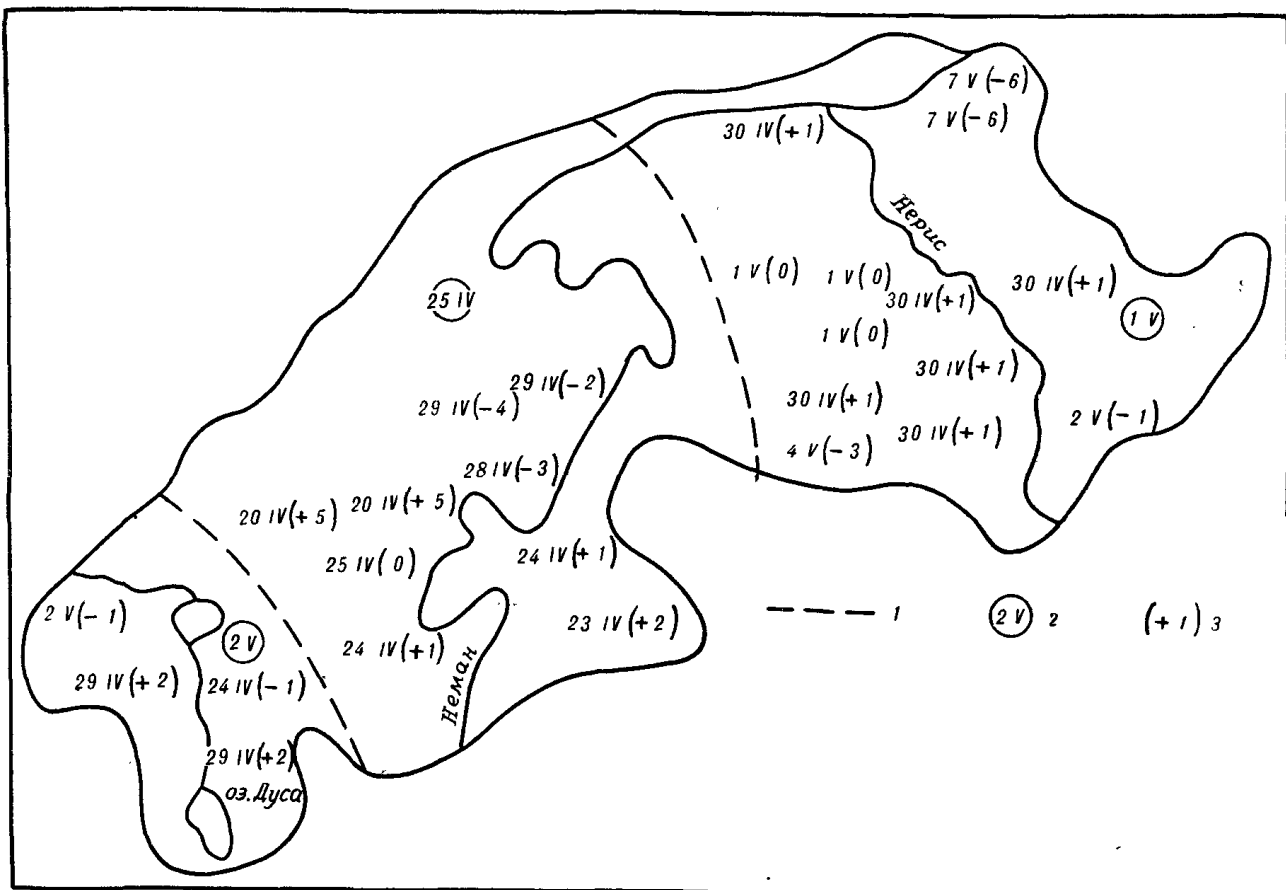


Рис. 49. Контур физико-географического района с выявленными подрайонами по фенологическому режиму (физико-географический район Средне-Немунасской и Нижне-Нерисской равнины Прибалтийской моренно-озерной провинции, подзоны широколиственно-хвойных лесов).

1 — граница подрайонов, 2 — средняя дата подрайона, 3 — отклонение каждой отдельной даты от средней подрайонной.

где a — любая первичная дата в пределах данного района, n — число фенодат в пределах данного района. После такого анализа данных карты производится выбраковка материала (рис. 50).

Материал по фенологии менее качественный и неоднородный по срокам сева, имеющий короткие ряды наблюдений (менее 7—10 лет), поэтому он требует специальной обработки. Ниже рассматриваются приемы приведения фенологического материала по некоторым культурам к однородному ряду наблюдений [79].

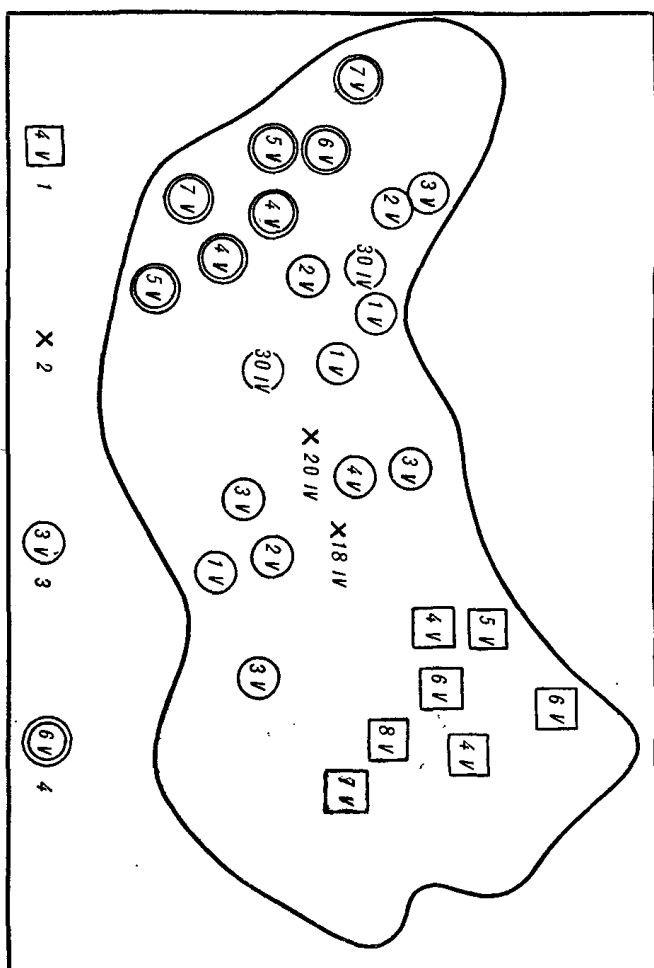


Рис. 50. Фрагмент рабочей карты с фенодатами: момент выбраковки материала (район Луща-Немунельской равнины — север Литовской ССР).

1 — большие отклонения (объясняются геоморфологическим строением), 2 — забранные данные (отклонения необъяснимы), 3 — необработанные данные (отклонения оправдываются при картографическом анализе), 4 — необработанные данные со значительными отклонениями, объяснимыми экспозицией склона.

а. Озимые культуры. На наблюдательных участках в одном и том же году в разных пунктах сроки сева озимых по хозяйственным причинам очень сильно различаются, т. е. фактические сроки на участках наблюдений не отражают оптимальные сроки посевов озимых по климатическим условиям. Установить средние оптимальные сроки сева озимых можно, исходя из климатических условий местности. Поскольку и появление всходов, и наступление последующих фаз развития озимых растений при достаточном увлажнении почвы зависят от температуры, то оказалось возможным вычислять средние сроки начала сева озимых, пользуясь соответствующими показателями — суммами эффективных температур. Определение среднего агроклиматического срока сева озимых в той или иной местности исходит из положения, что для достаточного

развития озимой ржи и пшеницы необходимо, чтобы растение поучило после посева суммарное тепловое воздействие, соответствующее накоплению суммы эффективных температур 300° (для наиболее распространенных сортов). Для новых сортов суммы эффективных температур необходимо уточнить. Начиная подсчет от перехода средней суточной температуры через 5° (в обратном порядке), доводят его до накопления указанной величины и предыдущий день записывают. Если сумма эффективных температур подсчитывается по средним многолетним температурам, то получается существенный недобор сумм по сравнению с подсчетом по ежедневным данным за каждый год. Например, для Подмосковья накопление суммы эффективных температур 300° на основании климатологических данных за 21 год приходится на 19/VIII, а по подсчету за каждый год в отдельности — на 22/VIII. Разницу между этими датами (3 дня) и следует применять как поправку к первой дате. Таким образом, 22/VIII можно считать средним сроком сева озимых, соответствующим климатическим условиям Подмосковья. Средний срок начала сева, полученный по наблюдениям нескольких станций Подмосковья (за каждый год выбиралась самая ранняя дата), приходится на 21/VIII.

Такие вычисления дают удовлетворительные результаты для тех районов, где современные агротехнические приемы обеспечивают, как правило, достаточное увлажнение почвы до прекращения вегетации. Этот прием можно рекомендовать для определения средних (агроклиматических) сроков сева озимых. Применяя суммы эффективных температур (для озимой ржи 52 и 67°), можно таким же путем определить средние сроки появления всходов и начала кушения.

Что касается фаз развития озимых культур в весенний и летний периоды, то обработка данных по этим фазам для агроклиматологии и календаря не отличается чем-либо от обычной обработки. Все будет заключаться в том, чтобы привести эти данные к многолетнему ряду. В этом случае можно применить следующий прием: выписав по каждому году наблюдения суммы эффективных температур, проходящиеся на даты колошения озимой ржи, и вычислив из них среднюю, пользуясь последней как показателем, вычисляя среднюю сумму эффективных температур за этот ряд лет. Затем, вычитя из этой суммы 183°, находят по остаточной сумме среднюю за тот же ряд лет дату выхода в трубку и, прибавив к первой величине сначала 144°, а потом 225° и, наконец, 175°, последовательно получают показатели для определения средних сроков зацветания, наступления молочной и восковой спелости.

Например, для Подмосковья средняя сумма эффективных температур на начало колошения озимой ржи 270°, для выхода в трубку показатель будет 88°, для зацветания 414°, молочной спелости 639° и для восковой спелости 814°. Сроки начала уборки нельзя использовать без предварительного их анализа, так как они также содержат случайные данные, объясняемые главным образом

организационно-хозяйственными причинами. Задержка начала уборки нередко по хозяйственным причинам влетит за собой еще большую задержку из-за ухудшения погоды. Поэтому выбранные данные о начале уборки необходимо проанализировать путем сопоставления дат, отмеченных ближайшими друг к другу станциями. В ряде случаев разрыв между сроками уборки в ближайших друг к другу пунктах по причинам не метеорологического характера достигал 10 дней и более. Поскольку неблагоприятные условия погоды одновременно создаются на большом пространстве, поскольку нет оснований ожидать, чтобы уборка, начавшись в одном районе, не могла одновременно начаться в других районах, где озимые созрели в близкие сроки. Следовательно, самая ранняя дата уборки, отмеченная какой-либо станцией, будет характеризовать возможное начало уборки данной озимой культуры в довольно большой группе окружающих районов, в которых существующих различий во времени наступления созревания не наблюдалось. Наиболее раннюю дату уборки в данном году и следует взять как наиболее характерную для рассматриваемой группы районов. Следовательно таким образом отбор дат и вычислив по ним средний срок, мы получим данные, наиболее правильно характеризующие особенности территории.

Еще более надежные результаты могут быть получены при использовании для этого сведений об осадках за период после наступления восковой спелости, а также о влажности воздуха. Тогда при отборе дат уборки объективные причины различий в сроках были бы обнаружены. Могут быть случаи, когда данные о фазах развития озимой пшеницы имеются за меньший промежуток времени, чем о фазах развития озимой ржи, тогда для приведения к более длинному ряду лет можно воспользоваться, кроме изложенного, также следующим приемом: по наблюдениям за годы, за которые имеются фенологические сведения по обеим озимым культурам, определяется среднее число дней между зацветанием озимой ржи и началом колошения озимой пшеницы, которое и придается к средней, приведенной к многолетнему ряду дате зацветания озимой ржи. По полученной средней дате колошения озимой пшеницы, пользуясь таблицей многолетних средних сумм эффективных температур, находят среднюю сумму эффективных температур, соответствующую началу колошения этой культуры, и, принимая эту дату за исходную, по той же таблице находят средние даты других фаз. Этот прием может быть использован, когда пропуски наблюдений не были вызваны гибелью озимой пшеницы в данном районе. Приведение к многолетнему ряду фенологических данных по озимому ячменю производится аналогично тому, как это указано относительно других озимых культур. Показателями для этого служат суммы эффективных температур: от выхода в трубку до колошения 330°, от колошения до созревания 388°, а для начальных фаз развития те же показатели, что и для ярового ячменя.

6. Яровая пшеница, яровой ячмень и овес. Обработка фенологических данных по яровым культурам с приведением

к многолетнему ряду более сложна, нежели по озимым, так как ход их развития зависит от времени посева, а также от сорта культуры, тогда как озимые, по крайней мере большинства сортов, различий в ходе развития (при прочих равных условиях) не обнаруживают.

Начинают обработку материалов по яровым культурам с установления типичности для каждого года срока сева яровой культуры. Чтобы определить, в какой мере время посева на наблюдательном участке отвечает сложившимся погодным условиям, необходимо сопоставить сроки начала посева данной культуры в хозяйстве со сроком посева ее на наблюдательном участке и выписать суммы эффективных температур, накопившиеся на каждую из этих дат. Если разница между суммами окажется не более 30°, а число дней не более трех, то отмеченная дата сева на наблюдательном участке принимается за характерную. При большем различии за характерную принимается дата начала сева в хозяйстве. В последнем случае все фазы развития рассчитываются от этой даты как от исходной.

После установления типичных для каждого года сроков начала сева культуры следует определить показатели для вычисления сроков наступления фаз развития по тем годам, по которым сделана замена даты сева. Это делается следующим образом: за все годы наблюдений выписываются суммы эффективных температур, приходящиеся на начало сева и начало колошения, и из них выводятся средние, которые и служат для вычисления дат всех других фаз. Вычтя из второй первую, определяют сумму за период от посева до колошения. Прибавив последнюю к сумме эффективных температур, накопившейся к началу сева, принимают в качестве типичного, по полученной величине находят сначала дату колошения, а затем и сроки наступления других фаз, пользуясь показателями сумм эффективных температур для межфазных периодов. Приведем для пояснения пример.

На 25/IV, оказавшейся типичной для данного года датой начала сева овса, накопилась сумма эффективных температур 49°, средняя сумма эффективных температур за период от посева до выметывания овса в данном пункте 559°, следовательно, предполагаемый срок выметывания может быть найден по сумме эффективных температур: 49° + 559° = 608°. Накопление полученной величины приходится на 2/VII.

Сроки других фаз определяются следующим образом: всходы — 49° + 65° = 114°, полученная величина накопилась 4/V — эта дата и будет датой появления всходов.

Выход в трубку: 608° — 378° = 230°, накопление 230° пришлось на 1/VI. Созревание: 608° + 428° = 1036°, дата накопления 1036° 5/VIII. Приведение к многолетнему ряду производится аналогичным путем, с той лишь разницей, что за годы, в которые фенологические данные отсутствуют, средняя сумма эффективных температур, приходящаяся на начало сева, принимается за показатель, по которому определяется дата сева за все годы отсутствия дан-

ных. Так, для овса по Подмосковью получены следующие показатели:

Посев	Всходы	3-й лист	Выход в трубку	Выметывание	Созревание
38°	103°	183°	267°	597°	1025°

Применяя эти показатели, мы, конечно, допускаем некоторую условность, так как в зависимости от условий агротехники и особенностей погоды в разные годы выметывание овса наступает не всегда при близких суммах температур, накопленных от посева. Однако для Подмосковья, например, проверка показала, что применение приведенных показателей для расчетов выметывания овса за 25 лет дает следующие результаты: в 72% случаев отклонения составляют ±3 дня, в 92% случаев ±4 дня. Расчеты, как видно, дают вполне удовлетворительные результаты. Если вычисление придется делать только за некоторые годы, то даже в том случае, когда в число отклонений попадут наибольшие, они не скажутся сколько-нибудь существенно на средней дате выметывания.

Приведение к многолетнему ряду фенологических данных по пшенице и ячменю делается так же, как это изложено относительно овса. Об обработке фенологического материала по другим культурам можно выяснить в работе [79].

4.2. Расчет вероятности наступления фенологических фаз сельскохозяйственных культур

Вероятность рассчитывается по основным фазам развития культур; для озимых, например, возобновление вегетации, колошение, цветение, молочная и восковая спелость. Вероятность наступления фенологических фаз в различные сроки может быть получена с помощью кривых. Кривые распределения фенологических дат, так же как и кривые вероятности перехода температуры воздуха через различные пределы, близки к кривым нормального распределения. Поэтому вероятность наступления фаз развития растений можно вычислить по среднему квадратическому отклонению σ от средней многолетней даты, используя коэффициенты кривой нормального распределения:

Вероятность, %	0	10	20	30	40	50
Коэффициенты	±2,25	±1,28	±0,84	±0,52	±0,25	0

Вероятность рассчитывается по длиннорядным станциям (не менее 15—20 лет).

Формула квадратического отклонения

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}, \quad (40)$$

где $\sum d^2$ — сумма квадратов отклонений от средней, n — число лет наблюдений. Исходные данные для расчетов представлены в табл. 38. Расчет вероятности наступления фаз колошения дан в табл. 39.

Таблица 38

Дата колошения яровой пшеницы и отклонения от средней.
Станция Купино

Годы	Дата колошения	Отклонение от средней		Годы	Дата колошения	Отклонение от средней	
		d	d²			d	d²
1931	15 VII	2	4	1945	20 VII	7	49
1932	7 VII	-6	36	1946	10 VII	-3	9
1933	30 VI	-13	169	1947	16 VII	3	9
1934	10 VII	-3	9	1948	19 VII	6	36
1935	24 VII	11	121	1949	20 VII	7	49
1936	3 VII	10	100	1950	24 VII	11	121
1937	28 VI	-15	225	1951	10 VII	-3	9
1938	20 VII	7	49	1952	12 VII	-1	1
1939	22 VII	9	81	1953	16 VII	3	9
1940	10 VII	-3	9	Сумма			1235
1941	14 VII	1	1	Число лет			23
1942	10 VII	-3	9	Среднее			7,3
1943	4 VII	-9	81				
1944	6 VII	-7	49				

Таблица 39

Вероятность (%) наступления фаз колошения озимой ржн. Станция Купино

Показатели	Вероятность, %								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Коэффициент отклонения в днях ($\sigma=7,3$)	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	1,28
Даты отклонений от средней (13 VII)	4 VII	7 VII	9 VII	11 VII	13 VII	15 VII	17 VII	19 VII	22 VII

4.3. Аналитический метод фенологического картирования¹

Фенологические карты имеют большое практическое значение при решении проблемы рационального использования природных ресурсов различных районов страны. Эти карты находят широкое применение при оценке агроклиматических условий территории, а также используются в качестве индикаторов начала полевых работ и для других целей. Принципы и способы фенологического картирования комплексно-географическим и графическим методами

¹ Аналитический метод разработан совместно с О. И. Нестеренко [39].

в достаточной степени разработаны и применены в работах Ф. Шнелле [115], Г. Э. Шульца [117, 118], Г. С. Малышевой [53, 54] (для дикорастущей растительности) и А. А. Шигелевым [79], Е. В. Бессоновой [14], М. Н. Курпеловой [47, 119], Б. И. Огородниковым [74], Н. В. Гулиновой [27, 61] (для сельскохозяйственных культур) и др. Подробная и достаточно полная систематизация методов фенологического картирования представлена Г. С. Малышевой [55].

Из других методов картирования известен аналитический, предложенный В. А. Батмановым; это объективная интерполяция фенологических дат для любого места изучаемой территории с применением математической обработки и анализа данных.

Зависимость наступления того или иного явления от географических факторов Батманов выражает уравнением.

$$y = B_0 + K_1(\varphi - \varphi_0) + K_2(\lambda - \lambda_0) + K_3(H - H_0), \quad (41)$$

где y — дата наступления явления на наблюдаемом участке, B_0 — средняя дата наступления явления на исследуемой территории, $\varphi_0, \lambda_0, H_0$ — средняя широта, долгота и высота над уровнем моря, вычисленная по территории из широт, долгот и высот всех пунктов, φ, λ, H — широта, долгота и высота конкретных пунктов, K_1, K_2 и K_3 — коэффициенты регрессии y на φ, λ, H .

Этот метод фенологического картирования не получил достаточно широкого применения в связи с некоторыми трудностями при математической обработке материала. В основном он использовался при картировании дикорастущей растительности [10, 11, 106, 107, 108]. Автором этого метода дано также картирование яровой пшеницы для Урала [12].

В. М. Шмидт [114] также рассматривает возможность интерполяции изофен на крупных в географическом смысле отрезках пространства на базе математического изучения динамики корреляционных связей между теми явлениями природы, которые служат основой для интерполяции. В настоящее время применение механизации позволяет широко использовать этот метод. Основываясь на принципах, разработанных В. А. Батмановым [10, 11, 12], Институтом экспериментальной метеорологии разработан подробная методика обработки материалов для фенологического картирования аналитическим методом с помощью простых счетных и электронных вычислительных машин (ЭВМ). В этой методике учитывается не только влияние на ход развития растений основных факторов по уравнению (φ, λ, H), но и физико-географические особенности территории, так как прохождение изофен согласовывается с серией карт (типсометрической, почвенной, климатической). Масштаб картирования 1:2500 000. Эта методика может быть использована для территорий с высотой до 500 м над уровнем моря. Она позволяет устранить неоднородность данных наблюдений и вычислить некоторые средние показатели, равномерно характеризующие всю изучаемую территорию.

После проверки качества исходного материала основные этапы обработки первичных феноматериалов следующие.

1. Разделение территории, подлежащей картированию, на планшеты.
 2. Приведение к одному периоду лет, проверка на точность, приведение к одному сроку сева и сортовой однородности и т. д.
 3. Решение уравнений регрессии для отдельных планшетов.
 4. Расчет дат наступления фенофаз по уравнению для предельных площадей.
 5. Проведение изофен (картирование).
- Принципы и способы обработки данных фенонаблюдений по озимым и яровым культурам различны. Поэтому методика разрабатана отдельно для озимых и яровых культур.

А. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ ОЗИМЫХ И ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

Обработка фенологических наблюдений для картирования фенологических дат по озимым и плодовым культурам сводится к приведению имеющегося на каждой станции материала к одному периоду лет наблюдений по формуле

$$B = A_{\phi} + \sum (b_i - a_i) / n, \quad (42)$$

где B — средняя многолетняя дата по станции, приведенная к одному периоду лет, A_{ϕ} — средняя многолетняя дата по планшету, приведенная к одному периоду лет, b_i — фактические даты наступления фаз по годам, a_i — средние даты по планшету за каждый год, $\sum (b_i - a_i)$ — сумма отклонений фактических дат от средних дат по планшету за каждый год, n — число лет наблюдений.

Обработка материала фенологических наблюдений для получения средней многолетней даты B состоит из следующих действий:

- а) расчет средних многолетних фенодат A для каждой станции по фактическому ряду наблюдений и в целом по планшету;
- б) расчет средней многолетней фенодаты A_{ϕ} по планшету, приведенной к одному периоду лет;
- в) расчет по станциям средней многолетней даты B , приведенной к одному периоду лет;
- г) оценка точности расчета средней многолетней даты B по станциям.

Фенологический материал по озимым (озимой ржи, пшенице, многолетним травам) и плодовым культурам по всем станциям с периодом наблюдений более двух лет обрабатывается в следующем порядке.

На гипсометрической карте масштаба 1:2500 000 кружком (тут — шире) отмечаются все станции, ведущие наблюдения над данной озимой или плодовой культурой.

Карта исследуемой территории с учетом физико-географических условий делится по широте и долготе (вдоль параллелей и меридианов) на ряд планшетов так, чтобы каждый планшет содержал по возможности примерно одинаковое число станций. Если картируемая территория по физико-географическим условиям однородна, то феноматериал по этой территории обрабатывается как единый

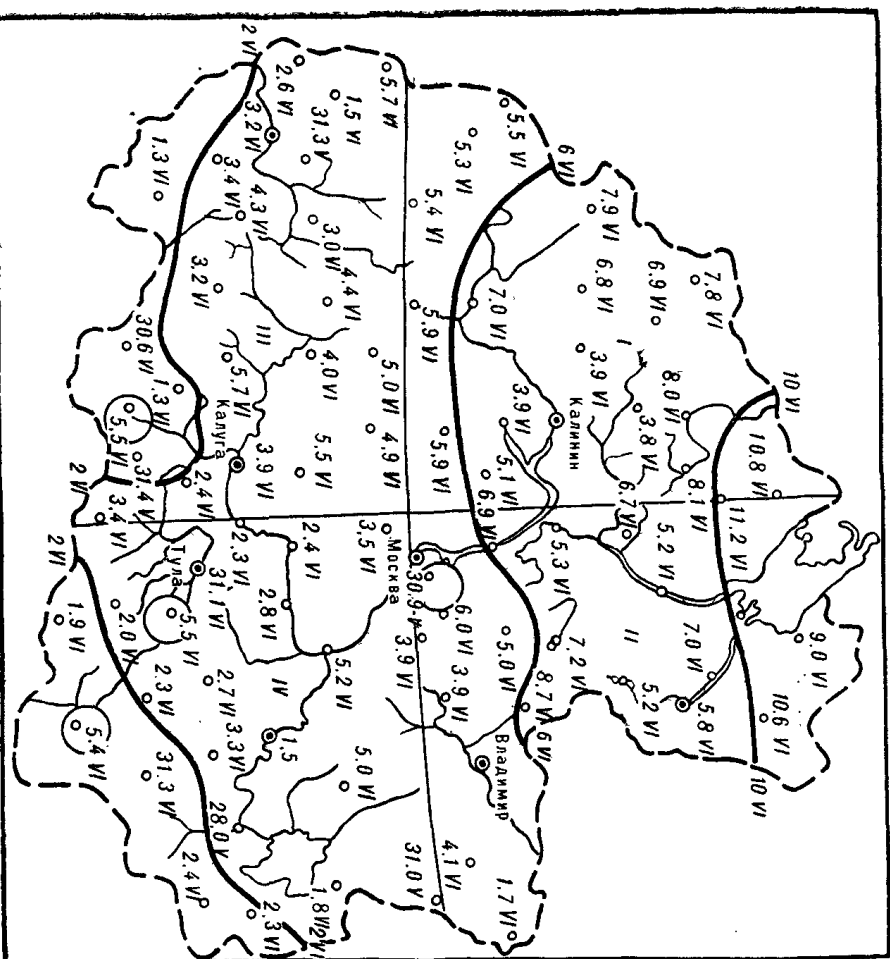


Рис. 51. Предварительное картирование даты колошения озимой ржи по фактическим данным.

планшет. Однако при большом количестве станций таблицы приведения к одному периоду лет становятся громоздкими (приложения 1, 2, 3). В этом случае также рекомендуется разбивать территорию на планшеты с примерно равным числом станций (не более 20—30). Дальнейшая обработка материала может осуществляться для всех планшетов вместе. Обработка материала показана на примере колошения озимой ржи для центрально-нечерноземных областей.

При построении карты колошения озимой ржи для центрально-нечерноземных областей вся территория делится на четыре план-

цета. Средний размер планшета брался 3° по широте и 6° по долготе. В дальнейшем соответствующие расчеты производились раздельно по каждому планшету.

Расчет средней многолетней даты по фактическому ряду наблюдений станций и в целом по планшету А

По станциям всего планшета за все имеющиеся годы выписываются даты наступления основной картируемой фазы (колошения озимой ржи) в рабочую таблицу (приложение 1). В последующих расчетах эти фактические даты будут обозначены буквами $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$. Заполнение этой таблицы производится после технического и критического контроля феноматериала.

Рабочая таблица состоит из граф: дата наступления фазы колошения по годам, сумма фенодат за весь период лет, число лет наблюдений, средняя многолетняя дата за имеющийся ряд наблюдений и средняя дата А в целом для планшета.

Средняя многолетняя дата для каждой станции вычисляется общепринятым способом, т. е. счет суммы ведется от первого числа самого раннего месяца. Затем сумма делится на число лет наблюдений. Расчет средних дат производится до десятых долей.

Полученные средние многолетние даты по фенофазе (приложение 1) для каждой станции наносятся на гипсометрическую карту (рис. 51) и соответственно датам проводятся ориентировочные изофены (в карандаше). Это позволяет сделать критический анализ данных станций. Если в пределах между изофенами имеются станции со значительными отклонениями от общего хода развития, то необходимо математическим путем проверить возможность использования для картирования данных этой станции. Математический метод проверки будет изложен при описании приложения 2, так как отклонения, вычисленные в этом приложении, непосредственно используются для указанной проверки.

Расчет средней многолетней фенодаты A_{Φ} по планшету, приведенной к одному периоду лет

Расчет отклонения фактически отмеченных дат за каждый год от средней даты по каждой станции производится по форме приложения 2. Для расчета используются данные приложения 1. Например, для станции Кашин в 1948 г. дата колошения озимой ржи наступила 31/V, а средняя многолетняя дата за весь период наблюдений станции (1948—1964 гг.) — 6, 7/VI. Следовательно, колошение озимой ржи на этой станции в 1948 г. наблюдалось на 6, 7 дня раньше по сравнению со средней многолетней датой этой станции. А в 1951 г. дата колошения наступила на 3, 3 дня позже средней многолетней даты. Отклонения соответственно будут в 1948 г. со знаком минус, а в 1951 г. со знаком плюс (—6, 7 и +3, 3). Аналогично определяются отклонения за все годы по всем станциям.

Первоначально данные приложения 2 используются для проверки возможности включения в обработку фенодат отдельных станций со значительными отклонениями, выявленными путем предварительного картирования (рис. 51). Для этого по приложению 2 выбирается одна или две самые длиннорядные станции и по соотношению

$$\frac{\sum (r_i - R_i)^2}{\sum r_i^2} < 1, \quad (43)$$

где r_i и R_i — отклонения фактических дат от средней даты соответственно по проверяемой и длиннорядной станциям за одни и те же годы, определяется возможность использования данных станций со значительными отклонениями.

Рассмотрим пример проверки данных по станции Москва, ВДНХ.

Расчет соотношения по станциям Москва, ВДНХ и Починки

Станция	Отклонения по годам								
	1950	1951	1952	1954	1955	1956	1959	1961	1962
Москва, ВДНХ, r_i	-4,9	+6,1	+1,1	+0,1	+7,1	-3,1	-6,9	+0,1	-2,9
Починки, R_i	-6,0	+2,0	-2,0	+4,0	+8,0	+10,0	-6,0	-4,0	-4,0
$r_i - R_i$	+1,1	+4,1	+3,1	-3,9	-0,9	-6,9	-0,9	+4,1	+1,1
$(r_i - R_i)^2$	1,21	16,81	9,61	15,21	0,81	47,61	0,81	16,81	1,21

$$\sum (r_i - R_i)^2 = 110,09; \quad \sum r_i^2 = 178,49;$$

$$\frac{\sum (r_i - R_i)^2}{\sum r_i^2} = \frac{110,09}{178,49} = 0,62; \quad 0,62 < 1.$$

Полученное соотношение (0,62) меньше единицы, следовательно, данные станции Москва, ВДНХ не ухудшат результаты приведения и она может быть использована при обработке данных по планшету.

Затем переходим к обработке данных приложения 2. Подсчитываем число случаев наблюдений за каждый год, алгебраическую сумму отклонений по годам фактически отмеченных дат от средней многолетней и рассчитываем среднее отклонение по планшету за каждый год. Расчеты даны в конце приложения 2. Например, за 1940 г. число случаев наблюдений 7, сумма отклонений по всем станциям составит 21,6 дня [(+3,0) + (+9,4) + (+14,2) + (—4,2) + (—0,7) + (0,0) + (—0,1)], а среднее отклонение по планшету за 1940 г. будет равно +3,1 дня (21,6 : 7 = +3,1). Алгебраически прибавляя это среднее отклонение по планшету за каждый год к средней многолетней дате А (см. приложение 1), получим средние даты по планшету за каждый год принятого периода лет.

Пример. За 1946 г. среднее отклонение по планшету равно +1,2. Эту величину прибавляем к средней многолетней дате по планшету (А = 5,9/VI) и получаем среднюю приведенную дату по

планшету за 1946 г. 7,1/VI (+1,2+5,9/VI). Полученный ряд приведенных средних дат по всем станциям планшета за каждый год обозначим буквами $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Из всего ряда этих дат (в нашем примере с 1936 по 1966 г.) вычисляем среднюю многолетнюю дату колошения озимой ржи в целом для планшета (условно обозначаемую A_Φ). Это будет средняя многолетняя дата для планшета, приведенная к одному периоду лет. Рассчитывается она по формуле

$$A_\Phi = \sum a_i / n, \quad (44)$$

где $\sum a_i$ — сумма средних дат по планшету за каждый год, приведенных к одному периоду лет; n — число лет.

Пример расчета A_Φ приведен в приложении 2. При суммировании средних дат колошения счет ведется обычным способом от первого числа самого раннего месяца. В нашем примере счет производится от 1 мая, поэтому дата 1,9/VI, приходящаяся на 1936 г., суммируется как 32,9/VI. A_Φ в нашем примере соответствует 6,3/VI.

Расчет средней многолетней даты В по каждой станции, приведенной к одному периоду лет

По форме приложения 3 вычисляются отклонения фактически отмеченных дат $b_1, b_2, b_3, \dots, b_i$ от средней даты, приведенной к одному периоду лет, $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i$, т. е. находится разность $(b_1 - a_1), (b_2 - a_2), \dots, (b_i - a_i)$.

Например, для станции Кашин в 1948 г. фактическая дата колошения озимой ржи приходится на 31/VI (b_1), а приведенная к одному периоду лет за тот же год — на 30,3/VI (a_1), разность составит 31/VI — 30,3/VI = +0,7.

В 1949 г. соответственно b_2 приходится на 31/VI, а a_2 — на 30,7/VI; разность будет 31 — 30,7 = +0,3. В 1957 г. b_3 приходится на 28/VI, a_{22} — на 29,3/VI, разность

$$28/VI - 29,3/VI = -1,3.$$

По станции Савелово за 1957 г. b_{13} приходится на 8/VI, a_{22} — на 29,3/VI, разность

$$39/VI - 29,3/VI = +9,7.$$

В последнем случае фенодата приведена к одному месяцу.

Полученные по годам разности (или отклонения) алгебраически суммируются по каждой станции и сумма записывается в соответствующую графу приложения 3: $\sum (b_i - a_i)$. Затем рассчитывается средняя величина отклонения по каждой станции путем деления полученной суммы отклонений на число случаев по данной станции по формуле:

$$\sum (b_i - a_i) / n, \quad (45)$$

где $\sum (b_i - a_i)$ — сумма отклонений, а n — число случаев.

Далее для каждой станции рассчитывается средняя многолетняя дата колошения озимой ржи, приведенная к одному периоду лет В по формуле (42).

Оценка точности приведенной к одному периоду средней многолетней даты В

Оценку точности вычисленной средней многолетней даты В производим путем вычисления средней ошибки по формуле

$$m = \pm \sigma / \sqrt{n}. \quad (46)$$

Формула среднего квадратического отклонения

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}}, \quad (47)$$

где $\sum \Delta^2$ — сумма квадратов разностей отклонений за каждый год от среднего отклонения по станции за весь период лет, т. е.

$$\sum \Delta^2 = \sum \left[(b_i - a_i) - \frac{\sum (b_i - a_i)}{n} \right]^2.$$

Расчет среднего квадратического отклонения и средней ошибки дается в приложении 4.

По станции Кашин отклонение $(b_i - a_i)$ за 1948 г. равно +0,7, а среднее отклонение за весь период лет $\sum (b_i - a_i) / n$ равно +1,3, разность отклонений Δ будет равна —0,6 [+0,7 — (+1,3)]. Полученные таким образом разности Δ за каждый год возводим в квадрат (Δ^2) и находим сумму квадратов разностей $\sum \Delta^2$, которая используется для расчета σ . По величине σ определяем величину средней ошибки m по формуле (46). Величина средней ошибки m должна быть в пределах точности наблюдений (± 2 дня).

Такие расчеты проводятся для всех станций планшета и все величины σ и m помещаются в приложение 4.

Средние многолетние даты наступления фазы колошения озимой ржи, приведенные к одному периоду лет В и проверенные на точность, являются исходным материалом для решения уравнения регрессии.

В случае если сеть станций с фактическими данными недостаточно густа, для решения уравнения дополнительно необходимо использовать и расчетные средние многолетние даты по станциям, которые не имеют фактических наблюдений. При этом существующие методы расчета дат (по сумме температур, по средней температуре на дату наступления фазы и др.) должны быть апробированы на местном материале.

Решение уравнения регрессии

Для решения уравнения регрессии производим дополнительную подготовку некоторых данных по форме приложения 5. Для каждой станции с наличием фактических или расчетных данных

выписываем географические координаты (широту, долготу и высоту над уровнем моря), а также среднюю многолетнюю, приведенную к одному периоду лет, дату картируемой фазы B . Эти данные используются для решения уравнения регрессии (41).

Решение уравнения возможно двумя способами:

- 1) с помощью простых счетных машин (арифмометры, электрические счетные машины и др.);
- 2) с помощью ЭВМ.

Приводим описание этих способов.

Решение уравнения с помощью простых счетных машин. Этот метод применим в случаях небольшого объема материалов для расчета, когда использование ЭВМ нерентабельно, а также в случае отсутствия ЭВМ.

Для вычисления уравнения этим способом необходимо произвести следующие расчеты. Используя данные приложения 5 по широте, долготе, высоте и датам наступления картируемой фазы, подсчитываем их средние величины в целом для планшета. Для расчета средних величин $\varphi_0, \lambda_0, H_0, B_0$ подсчитываем по всем станциям планшета сумму широт, долгот, высот, многолетних дат наступления картируемой фазы и полученные отдельно для каждого фактора суммы делим на число станций (приложение 5).

Следующим этапом расчетов является определение коэффициентов регрессии уравнения K_1, K_2 и K_3 методом наименьших квадратов. Пример расчетов приводится в приложении 6 и 7. Первоначально находим по каждой станции данного планшета разность между широтой, долготой, высотой, датой наступления фазы и их средними величинами. В приложении 6 эти графы с разностями обозначены для простоты дальнейших расчетов буквами a, b, c и f . Буквой a обозначена разность широт ($\varphi - \varphi_0$), буквами b, c, f соответственно разность долгот ($\lambda - \lambda_0$), высот ($H - H_0$) и дат ($B - B_0$). Для составления системы уравнений с тремя неизвестными (K_1, K_2 и K_3) находим произведение разностей $aa, ab, ac, af, bb, bc, bf, cc, cf$, результаты каждой графы алгебраически суммируем (последняя строка приложения 6) и составляем систему уравнений (см. там же). Решение производим методом определителей. Все расчеты приведены в приложении 7.

Используя данные приложения 5 по $\varphi_0, \lambda_0, H_0, B_0$ и коэффициенты регрессии, получаем

$$y = 7,0/\sqrt{1} + 0,026(\varphi - 116') - 0,002(\lambda - 553') + 0,017(H - 132), \quad (48)$$

где $7,0/\sqrt{1}$ — средняя дата наступления фазы колошения озимой ржи; $0,026 — K_1$; φ — широта станции, для которой рассчитывается y ; $116'$ — средняя широта по планшету в минутах; $0,002 — K_2, \lambda$ — долгота станции, для которой рассчитывается y ; $553'$ — средняя долгота по планшету в минутах; $0,017 — K_3$; H — высота станции, для которой рассчитывается y ; 132 — средняя высота по планшету.

Средние величины широты и долготы, полученные по планшету, для простоты расчетов отсчитываем в минутах от начала определенных координат в пределах исследуемой территории. Целесообразно за начало координат взять минимальные координаты по территории. В нашем примере для нечерноземной полосы счет ведется от 55° с. ш. и 30° в. д.; следовательно, из средней по планшету широты $56^\circ 56'$ (см. табл. приложение 5) вычитаем 55° , получаем $1^\circ 56'$ или $116'$. Эту величину и подставляем в уравнение вместо φ_0 . Таким же образом и из средней долготы по планшету ($39^\circ 13'$) вычитаем 30° в. д., получаем для уравнений λ_0 , равную $553'$.

Следующий этап работы заключается в проверке полученного уравнения регрессии по исходному материалу каждой станции планшета. Подставляя в уравнение соответствующие данные по станции (широту, долготу и высоту), вычисляем расчетные даты наступления фазы. Расчеты приведены в приложении 8.

Сопоставляя фактические даты наступления фазы B_i по станции с вычисленными по уравнению y_i , определяем разности между ними $\Delta'_i = B_i - y_i$, которые характеризуют соответствие даты, полученной по уравнению, с фактически наблюдаемой. Разности проверяем на достоверность с помощью критерия Стьюдента, вычисляемого по формуле

$$t = \left| \frac{\Delta'}{m} \right|, \quad (49)$$

где m — средняя ошибка даты наступления фазы B по станции. В случае если t меньше $1,96$, отклонения вызываются случайными факторами, если t равно $1,96$ или больше, отклонения вызываются неслучайными факторами.

Данные станции с этими отклонениями должны быть проанализированы на прочность.

В нашем примере из 18 станций второго планшета только по станции Рыбинск величина t больше $1,96$. Отклонение фактической даты от рассчитанной составляет $+2,5$ дня. Значит, это отклонение случайное, оно объясняется влиянием Рыбинского водохранилища.

Решение уравнения с помощью ЭВМ. Для решения уравнения требуется составить программу нахождения линейного уравнения регрессии вида

$$y = B + K_1\varphi + K_2\lambda + K_3H. \quad (50)$$

Подготовка данных для решения уравнения производится по форме приложения 5, т. е. для каждой станции выписываются географические координаты и средние многолетние даты фенофазы, приведенные к одному периоду лет. Находятся средние значения φ, λ, H, B по формуле

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}, \quad (51)$$

и т. д.

Далее по методу наименьших квадратов решаем систему n условных линейных алгебраических уравнений с тремя неизвестными ($n \times 3$). Обозначим через A матрицу коэффициентов системы, через Γ — вектор-столбец свободных членов. Приведение системы к нормальному виду производится операцией $C = A'A$. Решение полученной системы с матрицей коэффициентов C находим по уравнению $x = C^{-1}A'\Gamma$.

По этому уравнению для каждой станции находим теоретические значения y_i :

$$y_i = K_0 + K_1 \varphi_i + K_2 \lambda_i + K_3 H_i. \quad (52)$$

Далее вычисляем отклонения расчетных дат от фактических значений по каждой станции ($\Delta'_i = B_i - y_i$). Находим ошибку уравнения:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - y_i)^2}{n}}. \quad (53)$$

В нашем примере для центрально-нечерноземных областей $\sigma = +1,0$; $R = 0,85$. Данные Δ'_i , выданные на печать по каждой станции, анализируются на достоверность с помощью критерия Стьюдента по формуле (49).

После проверки уравнение используется для вычисления фено-дат по предельным площадям. Для этого перфорируются данные φ , λ , H , найденные для каждой предельной площади, и счет производится по добавочному блоку и программе.

Инструкция

по подготовке исходных данных для основной программы

Исходные данные, программа и константы набираются на перфоленгу. Числовой материал набирается одним массивом с адресного кода 4000 в порядке φ , λ , H и B , т. е. $\underbrace{4000 + 4000 + (n - 1)}_{\varphi}$, $\underbrace{4000 + n + 4000 + (2n - 1)}_{\lambda}$ и т. д.

К каждому варианту числового материала набирается константа в ячейке 3000) n 0000 0000 — 8-ричная константа, а в ячейке 3001) $+n_{10}$ — десятичное число, где n — число случаев, которое не должно превышать 510 ($n \leq 510_{10}$).

Запись числового материала на бланке показана в контрольном варианте.

Контрольный вариант основной программы (числовой материал)

3000	0022 0000	4030	+ 039 320 000	4060	+ 184,6
3001	+ 18	1	+ 040 110 000	1	+ 137
4000	+ 057 210 000	2	+ 039 540 000	2	+ 146,7
1	+ 056 520 000	3	+ 039 250 000	3	+ 134,1
2	+ 056 210 000	4	+ 038 500 000	4	+ 124,8
3	+ 057 300 000	5	+ 039 410 000	5	+ 78,8
4	+ 058 030 000	6	+ 038 450 000	6	+ 8,2
5	+ 058 290 000	7	+ 038 270 000	7	+ 6,5
6	+ 057 540 000	4040	+ 039 280 000	4070	+ 7,2
7	+ 058 120 000	1	+ 038 410 000	1	+ 6,8
4010	+ 057 380 000	2	+ 041 400 000	2	+ 10,3
1	+ 057 120 000	3	+ 042 500 000	3	+ 9,6
2	+ 056 430 000	4	+ 136,9	4	+ 8,3
3	+ 056 290 000	5	+ 122,2	5	+ 10,4
4	+ 056 240 000	6	+ 183,4	6	+ 6,3
5	+ 055 550 000	7	+ 119,9	7	+ 6,8
6	+ 055 560 000	4050	+ 104	4100	+ 7,8
7	+ 055 460 000	1	+ 109,3	1	+ 7,9
4020	+ 055 570 000	2	+ 123	2	+ 8,9
1	+ 056 100 000	3	+ 155	3	+ 5,9
2	+ 037 350 000	4	+ 96	4	+ 5,7
3	+ 037 230 000	5	+ 100,7	5	+ 4,8
4	+ 037 340 000	6	+ 174,3	6	+ 4,2
5	+ 038 180 000	7	+ 151,5	7	+ 3,8
6	+ 038 410 000				
7	+ 039 080 000				

Выводимые результаты

I. Таблица информации (расположение стандартных программ МОЗУ).

II. Средние значения широты, долготы, высоты и даты наступления фенофазы φ , λ , H , B .

III. Матрица моментов. Она выводится на печать только в качестве промежуточного результата при отладке программы. Если нет необходимости в выдаче ее на печать, необходимо включить перед началом работы программы ключ 0001.

IV. Средняя дата фенофазы по планшету и коэффициенты регрессии B_0 , K_1 , K_2 . Коэффициенты регрессии K_1 и K_2 выдаются на печать в радианной мере. Для получения их размерности (минута день) необходимо полученное значение коэффициентов K_1 и K_2 разделить на 3438. (1 радиан = $57^\circ 18'$ или 3438').

V. Выдача вычисленных по уравнению дат наступления фенофазы y .

VI. Выдача отклонений расчетных дат от фактических значений Δ'_i .

VII. Выдача ошибки уравнения σ .

Выводимые результаты по контрольному варианту прилагаются.

1. Таблица информации

+ 002 105 560 510	+ 0 565 623 + 00 $\bar{2}$
+ 002 206 120 557	+ 0 391 330 + 00 $\bar{1}$
+ 002 306 660 613	+ 1 323 444 + 03 \bar{H}
+ 004 107 520 667	+ 7 188 888 + 01 \bar{B}
+ 006 007 760 753	
+ 002 410 110 777	

III. Матрица моментов

+ 1 799 999 + 02	+ 9 936 800 + 03	+ 5 668 343 + 01 \bar{U}_5
+ 1 788 817 + 02		+ 4 914 773 + 01 \bar{U}_5
+ 1 232 289 + 02	IV.	+ 4 829 836 + 01 \bar{U}_7
+ 2 382 200 + 04	+ 1 104 391 + 03 \bar{K}_0	+ 3 574 234 + 01 \bar{U}_5
+ 1 294 000 + 03	+ 1 152 082 + 03 \bar{K}_1	
+ 1 788 817 + 02	+ 2 328 266 + 01 \bar{K}_2	
+ 1 778 105 + 02	+ 3 573 607 + 01 \bar{K}_3	
+ 1 224 551 + 02	+ 1 000 000 + 01	
+ 2 365 034 + 04		
+ 1 289 762 + 03	V.	
+ 1 232 289 + 02	+ 8 243 243 + 01 \bar{U}_1	— 4 324 322 — 01 \bar{A}'_1
+ 1 224 551 + 02	+ 6 754 180 + 01 \bar{U}_2	— 2 541 809 + 00 \bar{A}'_2
+ 8 446 076 + 01	+ 7 894 883 + 01 \bar{U}_3	— 6 948 836 + 00 \bar{A}'_3
+ 1 625 605 + 04	+ 7 908 221 + 01 \bar{U}_4	— 1 108 221 + 01 \bar{A}'_4
+ 8 828 198 + 02	+ 8 530 899 + 01 \bar{U}_5	+ 1 769 100 + 00 \bar{A}'_5
+ 2 382 200 + 04	+ 9 472 807 + 01 \bar{U}_6	+ 1 271 926 + 00 \bar{A}'_6
+ 2 365 034 + 04	+ 8 773 191 + 01 \bar{U}_7	— 9 572 140 + 00 \bar{A}'_7
+ 1 625 605 + 04	+ 1 049 356 + 02 \bar{U}_8	— 9 356 176 — 01 \bar{A}'_8
+ 3 304 260 + 06	+ 7 257 214 + 01 \bar{U}_9	+ 9 630 078 + 00 \bar{A}'_{12}
+ 1 740 671 + 05	+ 6 573 482 + 01 \bar{U}_{10}	+ 5 704 964 + 00 \bar{A}'_{14}
+ 1 294 000 + 03	+ 8 255 492 + 01 \bar{U}_{11}	+ 9 097 808 + 00 \bar{A}'_{13}
+ 1 289 762 + 03	+ 6 936 992 + 01 \bar{U}_{12}	+ 3 165 692 — 01 \bar{A}'_{15}
+ 8 828 198 + 02	+ 7 990 219 + 01 \bar{U}_{13}	— 1 147 729 + 00 \bar{A}'_{16}
+ 1 740 671 + 05	+ 3 329 503 + 01 \bar{U}_{14}	— 6 298 368 + 00 \bar{A}'_{17}
		+ 2 257 655 + 00 \bar{A}'_{18}

VII.

+ 7 021 193 + 00 $\bar{2}$

Инструкция

по пользованию основной программой

Ввод всего цифрового материала производится вручную от кнопки «Ввод цифровой».

I зона — расстановочная программа.

II зона — таблица информации.

Должны отпечататься шесть стандартных программ (см. выдачу контрольного варианта).

III зона — программа и константы.

Начальный код адреса 0,130KΣ — 725675416075.

IV зона — числовой материал с адресного кода 4000 и константы в ячейках 3000 и 3001.

Общее гашение. В Cч4K занести 0130, пуск. Рабочий останов в ячейке 0422. Для просчета следующего варианта ввести следующую зону с числовым материалом и с новыми константами в ячейках 3000 и 3001.

В Cч4K 0130, пуск, останов 0422 и т. д.

Распределение памяти МОЗУ

0001—0005 — индексные ячейки,
 0101—0104 — ячейки под $\bar{\lambda}$, \bar{H} , \bar{B} ,
 0105—0127 — свободные ячейки,
 0130—0422 — рабочая часть программы,
 0432—0437 — вывод программы и констант на печать,
 0440—0467 — константы программы,
 0470—0505 — сформированные константы,
 0510—1011 — стандартные программы,
 1012—1016 — рабочие ячейки для СП-0041,
 1060—2060 — для \bar{y} (расчетных),
 3000—3001 — константы исходных данных,
 3002—7777 — система условных уравнений,
 неужазанные ячейки свободны.

Программа решения уравнения регрессии «Зависимость даты наступления фенофаз от широты, долготы и высоты места» на ЭВМ Минск-2

Расстановочная программа				Таблица информации			
0001—47 00 0000 0000				0100 00 21 0000 0510			
2—45 00 0003 0004				1 00 22 0000 0000			
3—30 00 0001 0000				2 00 23 0000 0000			
				3 00 41 0000 0000			
				4 00 60 0000 0000			
				5 00 24 0000 0000			
				6 00 00 0000 0000			
Рабочая программа							
0130 — 11 00 3000 3000	0160 — 31 00 0753 0017	0210 — 30 00 0216 0347		5 — 30 00 0216 0347			
1 — 23 00 0440 0000	4 — 00 00 0000 0000	6 — 11 00 0473 0452		6 — 11 00 0473 0452			
2 — 12 00 0441 0470	5 — 10 00 0442 0004	7 — 80 00 0220 0351		7 — 80 00 0220 0351			
3 — 65 00 0443 3000	6 — 20 05 0162 0470						
4 — 30 00 0135 0471	7 — 21 00 0440 3000						
5 — 11 00 0471 0471							
6 — 30 00 0137 0472							
7 — 65 00 0443 0472							
0140 — 30 00 0141 0474	0170 — 30 00 0171 0474	0220 — 11 00 0503 0453		1 — 30 00 0222 0372			
1 — 21 00 0472 0150	1 — 12 00 0441 0475	2 — 00 00 0000 0000		2 — 00 00 0000 0000			
2 — 30 00 0143 0162	2 — 21 00 0440 3000	3 — 00 00 0000 0000		3 — 00 00 0000 0000			
3 — 21 00 0473 0152	3 — 12 00 0442 0476	4 — 24 00 0101 0101		4 — 24 00 0101 0101			
4 — 30 00 0145 0164	4 — 21 00 0441 0471	5 — 24 00 0102 0102		5 — 24 00 0102 0102			
5 — 00 00 0000 0000	5 — 30 00 0176 0500	6 — 24 00 0103 0103		6 — 24 00 0103 0103			
6 — 10 00 0470 0005	6 — 11 00 0476 0441	7 — 24 00 0104 0104		7 — 24 00 0104 0104			
7 — 10 00 0442 0004	7 — 30 00 0200 0501						
0150 — 10 05 3777 0040	0200 — 65 00 0443 0471	0230 — 10 00 0454 0002		1 — 10 00 0475 0001			
1 — 31 00 0557 0017	1 — 30 00 0202 0502	2 — 14 01 3777 0101		2 — 14 01 3777 0101			
2 — 10 04 0041 3777	2 — 11 00 0473 0502	3 — 20 01 0232 0475		3 — 20 01 0232 0475			
3 — 10 00 0442 0004	3 — 30 00 0204 0503	4 — 10 00 0475 0001		4 — 10 00 0475 0001			
4 — 20 05 0150 0470	4 — 11 00 0471 0502	5 — 10 00 0442 0001		5 — 10 00 0442 0001			
5 — 10 00 3001 0040	5 — 30 00 0206 0504	6 — 20 02 0232 0454		6 — 20 02 0232 0454			
6 — 31 00 0753 0017	6 — 21 00 0502 0447	7 — 44 00 3001 0101		7 — 44 00 3001 0101			
7 — 10 00 0041 3001	7 — 30 00 0210 0505						
0160 — 10 00 0470 0005	0210 — 11 00 0502 0446	0240 — 44 00 3001 0102		1 — 44 00 3001 0103			
1 — 10 00 0442 0004	1 — 30 00 0212 0256	2 — 10 05 0100 0040		2 — 10 05 0100 0040			
2 — 00 00 0000 0000	2 — 21 00 0504 0450	3 — 31 00 0613 0017		3 — 31 00 0613 0017			
	3 — 30 00 0214 0271	4 — 60 00 0400 0041		4 — 60 00 0400 0041			
	4 — 11 00 0502 0451	5 — 20 05 0244 0456		5 — 20 05 0244 0456			

Растановочная программа
0001 — 47 00 0000 0000
2 — 45 00 0003 0004
3 — 30 00 0001 0000

Таблица информации
0100 0060 0000 0230
1 0022 0000 0000
2 0021 0000 0000
3 00

Программа

0250 —	60 00 3400 0000	0340 —	20 05 0335 0463	0420 —	60 00 3400 0000	0106 —	13 00 0000 0007	6	21 00 0224 0150	5	16 00 0100 0100
1 —	60 00 3400 0000	1 —	60 00 3400 0000	1 —	60 00 3400 0000	0107 —	50 00 0000 0363	7	30 00 0140 0157	6	00 00 0000 0000
2 —	10 00 0460 0001	2 —	60 00 3400 0000	2 —	00 00 0000 0000	110 —	10 00 0211 0005	0140	11 00 0222 0212	7	16 00 0100 0100
3 —	24 01 1020 1020	3 —	10 00 0476 0001	3 —	10 00 0466 0005	1 —	10 05 0363 0040	1 —	30 00 0142 0166	0170	00 00 0000 0000
4 —	20 01 0263 0460	4 —	24 00 0100 0100	4 —	60 05 1400 0127	2 —	31 00 0230 0017	2 —	11 00 0223 0213	1	16 00 0100 0100
5 —	10 00 0461 0004	5 —	35 01 1046 3777	5 —	20 05 0424 0466	3 —	10 04 0041 0363	3 —	30 00 0144 0170	2	14 00 0364 0100
6 —	10 00 0455 0000	6 —	16 00 0100 0100	6 —	60 00 3400 0000	4 —	10 00 0207 0004	4 —	10 00 0221 0005	3 —	10 00 0100 0040
7 —	10 00 0501 0023	7 —	00 00 0000 0000	7 —	60 00 3400 0000	5 —	00 00 0000 0000	5 —	10 00 0207 0004	4 —	31 00 0310 0017
0270 —	10 00 0461 0001	0350 —	16 00 0100 0100	0430 —	10 00 0467 0001	6 —	10 05 0367 0040	6 —	10 05 0367 0040	5 —	60 00 0400 0041
1 —	00 00 0000 0000	1 —	00 00 0000 0000	1 —	60 01 1400 0437	7 —	00 00 0000 0000	7 —	31 00 0254 0017	6 —	20 01 0163 0220
2 —	16 03 1020 1020	2 —	16 00 0100 0100	2 —	20 01 0431 0467	0120	21 00 0205 0363	0150	10 04 0041 0367	7	60 00 3400 0000
3 —	20 02 0271 0501	3 —	14 00 1045 0100	3 —	60 00 3400 0000	1 —	30 00 0122 0220	1 —	10 00 0207 0004	0200	60 00 3400 0000
4 —	10 00 0476 0002	4 —	10 01 0100 1057	4 —	60 00 3400 0000	2 —	10 00 0206 0220	2 —	20 05 0146 0221	1 —	60 00 3400 0000
5 —	20 00 0500 0002	5 —	20 01 0344 0476	5 —	00 00 0000 0000	3 —	12 00 0206 0221	3 —	10 00 0220 0005	2 —	20 07 0107 0000
6 —	10 00 0455 0003	6 —	35 00 0002 0367	6 —	00 00 0000 0000	4 —	65 00 0210 0363	4 —	10 00 0207 0004	3 —	00 00 0000 0000
7 —	20 01 0271 0461	7 —	10 00 0475 0005	7 —	00 00 0000 0000	5 —	30 00 0130 0222	5 —	00 00 0230 0017	4 —	00 01 0000 0000
0300 —	10 00 0471 0271	0360 —	10 05 1057 0040	0440 —	00 01 0000 0000	6 —	30 00 0132 0223	6 —	31 00 0230 0017	5 —	00 00 0001 0000
1 —	71 00 0462 0271	1 —	31 00 0510 0017	1 —	00 00 0001 0000	0130	11 00 0222 0222	0160	10 00 0207 0004	6	00 00 0000 0001
2 —	12 00 0505 0271	2 —	60 00 0400 0041	2 —	00 00 0000 0001	1 —	30 00 0132 0223	1 —	20 05 0155 0220	0210	00 03 0001 0000
3 —	20 04 0267 0461	3 —	20 05 0360 0475	3 —	00 00 0000 0114	2 —	65 00 0210 0223	2 —	10 00 0220 0001	1	35 01 0367 0366
4 —	00 00 0000 0000	4 —	60 00 3400 0000	4 —	00 00 0000 0014	3 —	30 00 0134 0224	3 —	10 00 0000 0100	2	35 01 0367 0367
5 —	00 00 0000 0000	5 —	60 00 3400 0000	5 —	00 30 0001 0000	4 —	21 00 0223 0146	4 —	35 01 0367 0365	3	00 00 0000 0000
6 —	35 00 0001 0316	6 —	60 00 3400 0000	6 —	10 01 0457 3777	5 —	30 00 0136 0155	4		4	00 00 0000 0000
7 —	10 00 0445 0005	7 —	24 00 0100 0100	7 —	00 00 0000 3777						
0310 —	10 05 1020 0040	0370 —	10 00 0501 0005	0450 —	35 02 3777 3777						
1 —	31 00 0510 0017	1 —	10 00 0442 0004	1 —	35 01 1047 3777						
2 —	60 00 0400 0041	2 —	00 00 0000 0000	2 —	35 01 1050 3777						
3 —	20 05 0310 0445	3 —	30 04 0374 1057	3 —	25 05 1057 3777						
4 —	60 00 3400 0000	4 —	30 00 0375 0040	4 —	00 03 0000 0000						
5 —	60 00 3400 0000	5 —	31 00 0510 0017	5 —	00 00 0001 0001						
6 —	31 00 0667 0017	6 —	60 00 0400 0041	6 —	00 01 0001 0000						
7 —	00 04 1012 1021	7 —	10 00 0442 0004	7 —	40 00 0000 0001						
0320 —	10 00 0455 0004	0400 —	20 05 0372 0501	0460 —	00 30 0001 0001						
1 —	10 00 0461 0003	1 —	60 00 3400 0000	1 —	00 04 0000 0000						
2 —	10 00 0464 0002	2 —	60 00 3400 0000	2 —	77 77 7777 0000						
3 —	10 00 0465 0001	3 —	60 00 3400 0000	3 —	00 04 0001 0000						
4 —	10 02 1013 0100	4 —	24 00 0100 0100	4 —	00 00 0006 0000						
5 —	44 01 0100 1020	5 —	10 00 0501 0001	5 —	00 04 0000 0001						
6 —	11 04 1020 1020	6 —	35 01 1057 1057	6 —	02 70 0000 0001						
7 —	10 00 0455 0004	7 —	16 00 0100 0100	7 —	00 26 0000 0001						

Выходные результаты по добавочному блоку программы

006 002 530 230
+ 002 203 070 254
+ 002 103 560 310

Фенодаты по предельным площадям

+	1 104 928	+	02	+	7 549 919	+	01	+	7 344 487	+	01
+	1 061 065	+	02	+	7 117 510	+	01	+	7 053 699	+	01
+	1 021 266	+	02	+	8 220 427	+	01	+	6 226 871	+	01
+	9 351 419	+	01	+	7 858 167	+	01	+	5 900 347	+	01
+	9 351 419	+	01	+	7 123 128	+	01	+	5 252 200	+	01
+	8 596 063	+	01	+	7 742 483	+	01				
+	9 091 467	+	01								

0001—0005 — индексные ячейки,
 0110—0212 — программа, константы,
 0213—0217 — свободные ячейки,
 0220—0227 — сформированные константы,
 0230—0356 — стандартные программы,
 0357—0362 — свободные ячейки,
 0363 — константа n 0000 0000
 0364 K_0
 0365 K_1
 0366 K_2 } — коэффициенты уравнивания
 0,367 K_3
 0370—7777 — числовой материал

Инструкция по пользованию добавочным блоком программы

I. Ввод I зоны — расстановочная программа.

II. Ввод II зоны — таблицы информации.

Должны отпечататься три стандартные программы (см. контрольный вариант).

III. Ввод III зоны — программа.

На «Наборе кода» набрать n — 18 0000 0000 (число вариантов без 1) для выдачи на узкую печать всех вариантов счета

$K \sum 156\ 306\ 652\ 653$

IV. Ввод числового материала.

В СЧДК 0106 — пуск. Рабочий останов — 0203.

Контрольный вариант добавочного блока программы			
0303	0021 0000 0000	0410 + 056 200 000	0430 + 041 300 000
4 —	110 439 100	1 + 037 300 000	1 + 042 300 000
5 +	115 208 200	2 + 039 300 000	2 + 160
6 —	2,32 826 600	3 + 040 300 000	3 + 150
7 +	0,03 573 600	4 + 037 300 000	4 + 140
		5 + 038 300 000	5 + 150
0370 +	058 200 000	6 + 039 300 000	6 + 130
1 +	058 200 000	7 + 040 300 000	7 + 145
2 +	058 200 000		
3 +	057 400 000	0420 + 037 300 000	0440 + 103
4 +	057 400 000	1 + 038 300 000	1 + 125
5 +	057 400 000	2 + 039 300 000	2 + 157
6 +	057 400 000	3 + 040 000 000	3 + 148
7 +	057 000 000	4 + 037 300 000	4 + 128
		5 + 038 300 000	5 + 180
		6 + 039 300 000	6 + 170
		7 + 040 300 000	7 + 163
0400 +	057 000 000		
1 +	057 000 000		
2 +	057 000 000		
3 +	056 200 000		
4 +	056 200 000		
5 +	056 200 000		
6 +	056 200 000		
7 +	056 200 000		

0450 + 141
 1 + 131
 2 + 116

Для картирования используются гипсометрические карты масштаба 1 : 2500 000. На такой карте вся территория, по которой будет произведено картирование, делится на предельные площади. При картировании в указанном масштабе рекомендуемая предельная площадь 40' по широте и 1° по долготы. Для территорий с очень изрезанным рельефом и большими значениями широтных и высотных градиентов (K_1 и K_2) предельные площади могут охватывать 20' широты и 30' долготы. С уменьшением размеров предельной площади точность карты увеличивается. Для каждой предельной площади вычисляется средняя высота над уровнем моря (в горных местностях учитывается только та часть площади, где возможно возведение культуры). Для вычисления средней высоты предельной площади необходимо на прозрачной бумаге заготовить сетку квадратов 5×5 мм и, совместив данную сетку с предельной площадью, подсчитать количество квадратов, занимаемых той или иной гипсометрической окраской. Например, 5 квадратов занимает гипсометрическая окраска с высотой 200 м, 6 квадратов с высотой 150 м и 19 квадратов — с высотой 100 м. Число квадратов умножается соответственно на высоту и результат суммируется. Разделив полученную сумму на общее число квадратов по предельной площади, получим среднюю высоту по предельной площади.

Пример.

5 · 200 = 1000
 6 · 150 = 900
 19 · 100 = 1900
 30 3800

3800 : 30 = 127 м, H_{cp} = 127 м.

За среднюю широту и среднюю долготу предельной площади берется широта и долгота центра площади.

Расчетные данные для предельных площадей координаты записываются в приложении 9. Эти координаты используются для расчета дат наступления фаз для предельных площадей по полному уравнению как с помощью простых счетных машин, так и ЭВМ. Пример фенодаты с помощью простых счетных машин приведен в том же приложении 9.

Расчетные данные по уравнению тем или иным способом даты наносятся на карту в центр предельных площадей. Следует учесть, что в даты, расчетные данные для предельных площадей, необходимо вносить поправки при значительных отклонениях расчетных дат от фактических. В нашем примере из-за влияния Рыбинского водохранилища отклонение фактической даты от вычисленной на станции Рыбинск равно 2,5 дня. Это и будет поправка на территорию, находящуюся под влиянием Рыбинского водохранилища.

При анализе установлено, что влияние Рыбинского водохранилища распространяется только на часть предельной площади, куда

входит станция Рыбинск (влияние закрытых водоемов распространяется на 5—10 км). Но так как большую часть этой предельной площади занимает само водохранилище, то фенодата для этой предельной площади не рассчитывалась, а при проведении изофены принималась фактическая дата *B* по станции Рыбинск.

Если наблюдаются отклонения расчетных дат от фактических из-за влияния почвенных разностей, то поправка вводится во все предельные площади, на которые распространяется данная почвенная разность, причем изолиния проводится по контуру границ этой почвенной разности. Если отклонения обусловлены влиянием моря, то поправка вводится в предельные площади, расположенные по побережью.

Изофены проводятся по датам предельных площадей с учетом рельефа внутри предельной площади, так как фенодаты по предельным площадям рассчитаны для средней высоты. Для других высот внутри предельной площади учитывается высотный градиент K_3 , который получен при решении уравнения для планшета. В наших расчетах высотный градиент равен 2 дням на 100 м, т. е. с поднятием на 100 м дата запаздывает на 2 дня. С учетом этого градиента изофена проводится следующим образом. Например, мы установили необходимость проведения по территории изофены, соответствующей 6/VI, а для предельной площади расчетная фенодата приходится на 7/VI. Средняя высота этой предельной площади равна 200 м. Учитывая высотный градиент, изофену 6/VI нужно провести по высоте около 150 м. Допускаемая точность при учете высоты ± 20 м.

Интервал между изофенами на равнинной территории должен быть не менее двух дней, а при изрезанном рельефе — не менее четырех дней. Пример построения карты дан на рис. 52.

Картирование производится только по основной и наиболее точно отмечаемой фазе (для озимых — колошение, для плодовых — цветение и т. д.). Для остальных фаз строятся графики связи дат их наступления с датой картируемой фазы. Графики строятся по фактическим средним многолетним данным наблюдений станций, вычисленным за имеющийся ряд лет (но не менее 7 лет). Перед построением графиков для каждой станции вычисляется средний межфазный период между датами картируемой фазы и фазы, для которой строится график зависимости. По полученным данным вычисляется среднее квадратическое отклонение [формула (47)] и доверительные пределы, которые равны среднему межфазному периоду по территории $\pm \sigma$. Станции с величинной межфазного периода больше или менее указанного предела для построения графика не используются.

Принцип построения графиков следующий. На оси абсцисс откладываются даты колошения, а на оси ординат — даты наступления какой-либо фазы (рис. 53), после этого находится уравнение, по которому на графике проводится прямая регрессии (расчет коэффициента корреляции и уравнения прямой дается в приложении 10). Затем по средней многолетней дате колошения, приведенной

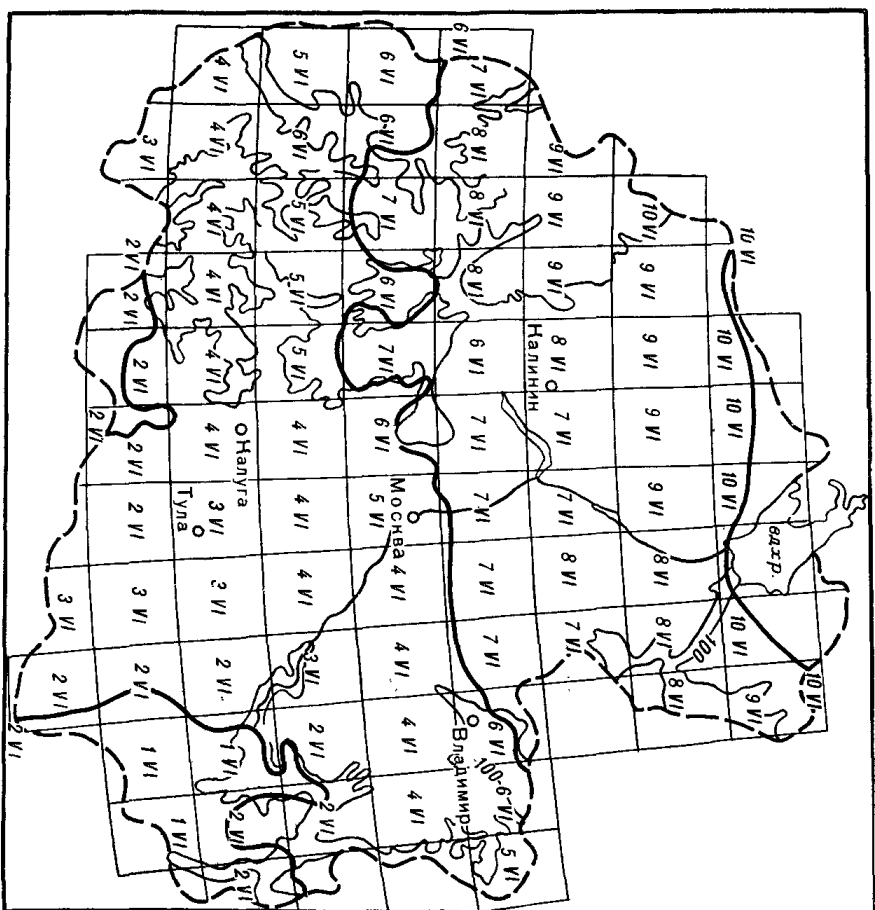


Рис. 52. Карта для расчета дат колошения озимой ржи.

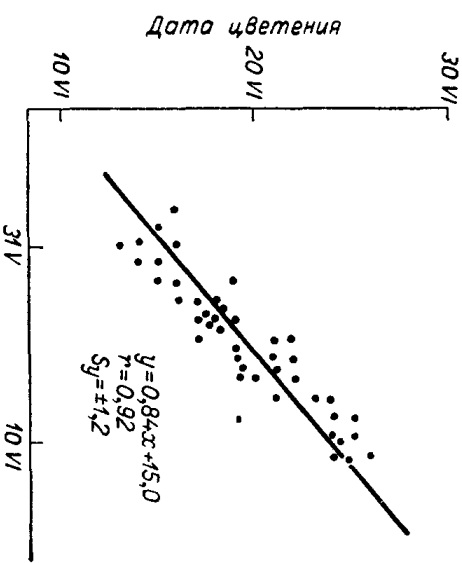


Рис. 53. Зависимость наступления дат фаз цветения озимой ржи от даты колошения.

к одному периоду, снимается дата наступления любой другой фазы. Для этого на оси абсцисс откладывается дата колошения, от нее восстанавливается перпендикуляр до пересечения с прямой, от этой точки проводится прямая до пересечения с осью ординат и определяется соответствующая фенодата.

При достаточной тесной связи между указанными датами такие графики (в случае необходимости) могут быть использованы для построения карт по любой фенодате для этой культуры. В этом случае за исходную дату (для снятия с графика искомой фенодаты) принимается дата колошения, рассчитанная для предельных площадей.

Графики могут быть помещены в легенде к карте колошения или другой картируемой фазы.

В. ОСОБЕННОСТИ ФЕНОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ЯРОВЫХ КУЛЬТУР¹ И ОСЕННИХ ФАЗ РАЗВИТИЯ ОЗИМЫХ (ОТ ПОСЕВА ДО ПРЕКРАЩЕНИЯ ВЕГЕТАЦИИ)

Даты наступления фаз развития озимых культур в осенний период и яровых в течение всей вегетации в значительной степени зависят от сроков сева. В связи с тем что сроки сева часто обуславливаются хозяйственными причинами, они в большинстве случаев не бывают оптимальными. Значительные различия в сроках сева даже на близрасположенных станциях искажают естественный ход развития сельскохозяйственной культуры по территории. Поэтому при составлении фенокарты для какой-либо яровой культуры необходимо фактические данные по картируемой фазе привести к одному сроку сева.

Существует три способа, посредством которых наступление той или иной фазы развития можно привести к одному сроку сева:

- 1) использование только тех наблюдений, для которых срок сева близок к оптимальному;

- 2) использование наблюдений при посеве в срок, определяемый моментом сезонного развития природы: началом зеленения березы, зацветания черемухи, поспеванием почвы и т. д.;

- 3) использование наблюдений при посеве в определенные календарные сроки.

Применяя первый способ, мы уменьшаем количество материала и тем самым понижаем точность карты. При втором способе не всегда может быть обеспечен нужный набор феноуказателей по той или иной территории. Поэтому в связи с ограниченностью фенологического материала наиболее целесообразно обработку вести третьим способом, т. е. приводя весь имеющийся материал к единым календарным срокам и строя карты для нескольких сроков сева. Затем от серии карт по календарным срокам надо перейти к по-

строению одной карты для среднего многолетнего оптимального срока сева по территории.

Обработка имеющегося материала по фенологии яровых культур для картирования сводится к следующему:

- а) нивелируются сортовые различия;

- б) фактические средние многолетние сроки наступления фаз развития приводятся к календарным срокам сева.

Данную методику для картирования яровых культур рассмотрим на примере составления карты цветения раннеспелых сортов картофеля по территории Северного УГМС.

1. Весь фенологический материал по картофелю разбивается на отдельные группы по скороспелости (раннеспелые, среднеспелые и позднеспелые сорта). Если фактических данных по сортам одной скороспелости очень мало, то необходимо привести сорта к одной скороспелости. Для приведения используются данные госсортоучастков, строятся графики связи фенодат различных по скороспелости сортов за один и те же годы. Затем по графику восстанавливаются соответствующие даты для станций. В таблицу (приложение 11) по всем станциям и за все годы (включая станции с наблюдениями в течение одного года) выписываются для определенной группы сортов (в нашем примере для раннеспелых сортов) даты посадки и даты картируемой фазы (цветения). В этой же таблице вычисляются межфазные периоды посадки и цветения за каждый год, средняя многолетняя дата посадки и цветения за имеющийся ряд наблюдений по каждой станции и средний многолетний межфазный период посадки — цветение. Последний рассчитывается путем суммирования межфазных периодов по годам и деления суммы на число лет наблюдений.

2. Так как станции имеют материал за разные периоды лет, точность среднего межфазного интервала посадки — цветение различна. Для оценки точности интервала посадки — цветение, вычисленного для каждой станции, определяется среднее квадратическое отклонение σ [формула (47)] и величина средней ошибки m [формула (46)]. Пример расчета среднего квадратического отклонения дан в приложении 12.

Данные станции с близкими величинами среднего квадратического отклонения (разность между средней величиной σ по станциям не должна превышать ± 2 дней) используются для дальнейшей обработки.

3. Все станции распределяются по средним многолетним срокам сева на отдельные группы по декадам, а если материала достаточно, то по пентадам, по форме приложения 13. Группировку по срокам сева необходимо производить таким образом, чтобы каждая группа содержала примерно одинаковое число станций. Например, станции Северного УГМС разбиты по средним многолетним срокам сева на группы: 25—29/V, 30/V—3/VI, 4—8/VI и 9—13/VI и для каждой группы станций рассчитан средний многолетний интервал посадки — цветение и средняя многолетняя дата посева (посадки).

¹ Под яровыми культурами понимаются все однолетние культуры — яровая пшеница, овес, ячмень, кукуруза, просо, гречиха, картофель, сахарная свекла и др.

4. По средним многолетним датам посева (посадки) и межфазного интервала посадка—цветение отдельных групп станций строится график изменчивости указанного интервала от сроков сева (рис. 54).

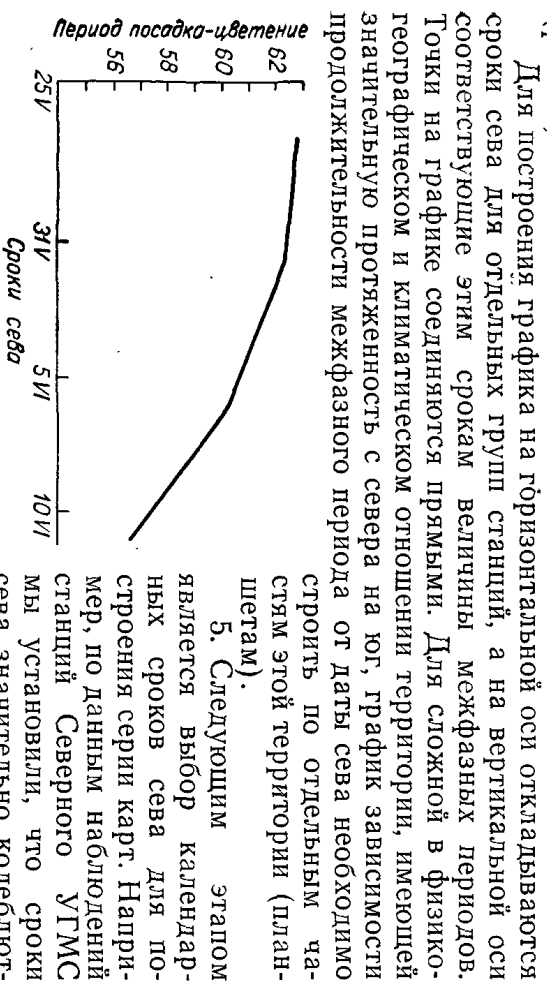


Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадка—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

строения карт. При этом возможны различные подходы. Во-первых, можно воспользоваться выводами научно-исследовательских учреждений. Во-вторых, можно установить оптимальные сроки сева по агроклиматическим показателям. В частности, в справочниках «Агроклиматические ресурсы области» имеется таблица «Агроклиматические условия периода посев—всходы при разных сроках посадки», данные которой могут быть использованы при определении оптимальных сроков сева.

В-третьих, можно пользоваться фактическими средними многолетними сроками сева по станциям и госсортоучасткам.

В нашем примере мы установили, что оптимальные средние многолетние сроки сева для Архангельской области на севере 5/VІ, в центральной части и на юге 1/VІ. Таким образом, можно заключить, что для данной территории целесообразно построение двух карт цветения картофеля — 1 и 5/VІ.

6. При построении карты цветения картофеля для того или иного календарного срока сева необходимо найти поправку к межфазному периоду. Поправка находится по графику (рис. 54). На оси сроков сева откладывается дата календарного срока сева, выбранного для построения карты. Из этой точки восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой. От точки пересечения проводится прямая до оси ординат (межфазный интервал) и находится величина интервала при посеве в этот срок. Затем таким же обра-

зом находят величину межфазного интервала по фактической средней многолетней дате сева. Разность между найденными интервалами составит поправку. Поправка вычитается из фактической величины межфазного интервала, если календарный срок сева позже фактического, и прибавляется, если календарный срок раньше фактического.

Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадки—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадки—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадки—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадки—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадки—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадки—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

Рис. 54. Изменчивость межфазного периода посадки—цветение раннеспелых сортов картофеля от даты посадки.

$$\frac{(58 - 57,5) \cdot 10 + (64 - 57,5) \cdot 8}{18} = \frac{5 + 52}{18} = +3,2 \text{ дня.}$$

Эта поправка вычитается из среднего многолетнего межфазного периода за все годы наблюдений данной станции. В нашем случае фактический межфазный период посадки—цветение за 18 лет составляет 66 дней, с поправкой он будет равен 62,8 дня (66—3,2).

8. Дата цветения картофеля вычисляется от самого раннего ме-
сца по полученным интервалам с введенными поправками. Дан-
ные записываются в таблицу (приложение 14). Полученные даты

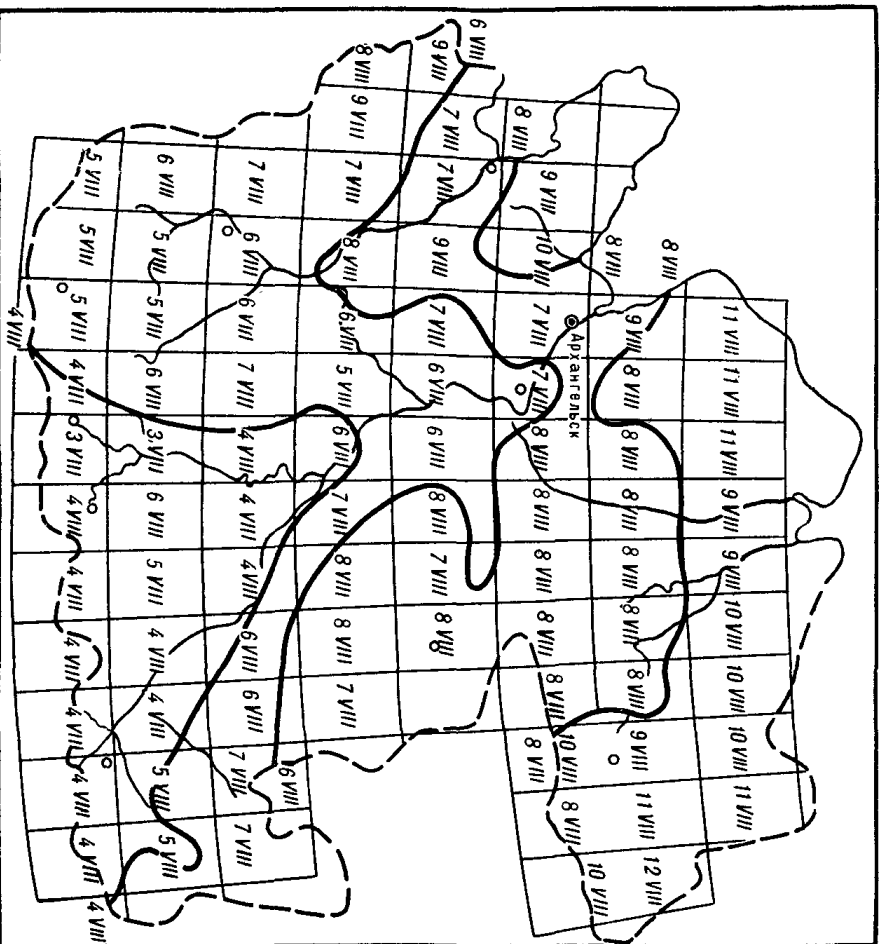


Рис. 55. Карта цветения раннеспелых сортов картофеля при посеве 5/VI.

наносится на карту и анализируются на соответствие этих дат физико-географическим условиям станций. Материалы станций, данные которых не отображают физико-географических особенностей этих станций, проверяются дополнительно. Далее, все даты, имеющие ряд наблюдений не менее семи лет, аналогично средним многолетним датам В для озимых культур, используются для на-
хождения уравнения связи фенодаты с широтой, долготой и высо-
той для всей территории или ее отдельных планшето.

Методика нахождения уравнения и проверка на достоверность та же, что и для озимых культур. Но построение карт имеет свою

особенность, которая заключается в том, что карта фенодат, соот-
ветствующая средним многолетним оптимальным срокам сева, со-
ставляется на основе серии карт для календарных сроков.

На рис. 55 и 56 дан пример построения карт цветения карто-
феля для территории Армянской области по календарным сро-
кам посадки 1 и 5/VI. С этих карт изофены, соответствующие опти-
мальным срокам посадки, переносятся на сводную карту. Напри-

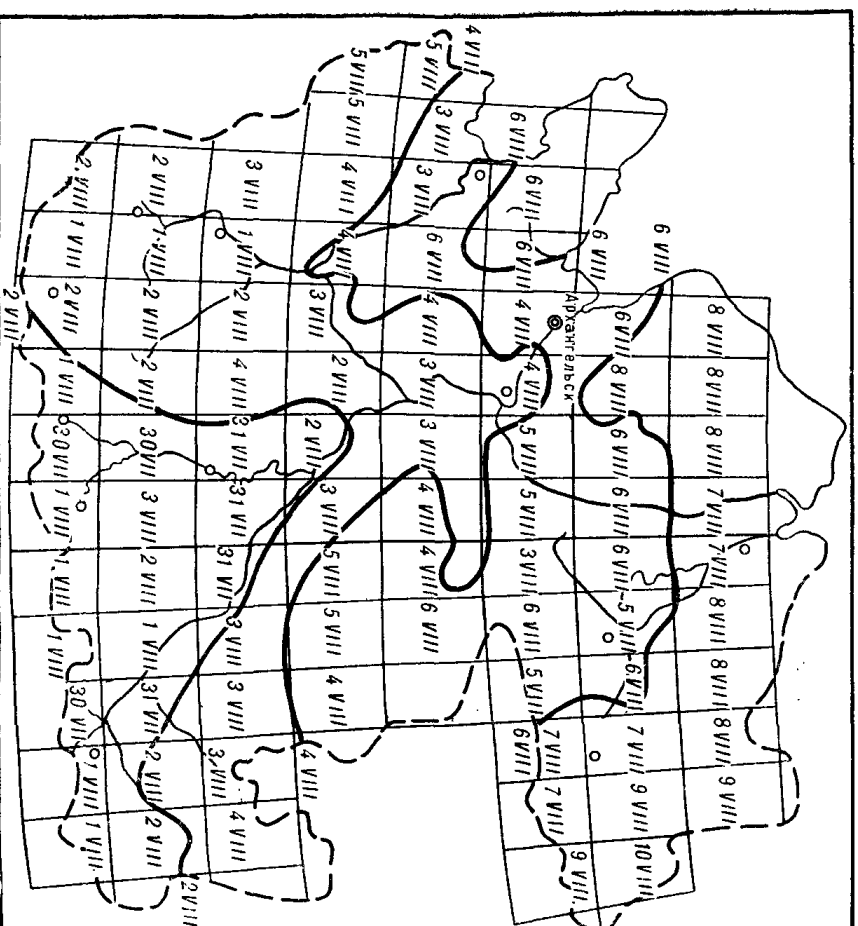


Рис. 56. Карта цветения раннеспелых сортов картофеля при посадке 1/VI.

мер, на севере территории оптимальные сроки посадки картофеля
приходятся на 5/VI, соответствующая этому сроку изофена отно-
сится к 8/VIII (рис. 55). Эта изофена переносится на сводную
карту (рис. 57). В центральной и южной частях области оптималь-
ные сроки посадки картофеля приходятся на 1/VI, соответствую-
щие этому сроку изофены цветения картофеля — 2 и 4/VIII — пере-
носятся с рис. 56 на сводную карту (рис. 57). Приведение к одному
сроку сева осенних фаз развития озимых делается так же, как
и для яровых культур, но поправка на календарную дату посева
вводится с обратным знаком, так как осенью к концу вегетации

наблюдается понижение температуры. За основную фазу в осенний период развития озимых принимается фаза 3-го листа, отмечаемая наиболее точно. Для остальных осенних фаз развития озимых строятся графики связи с основной картируемой фазой. Для построения графиков связи, вычисления коэффициентов корреляции и уравнений регрессии используются фактические средние многолетние даты.

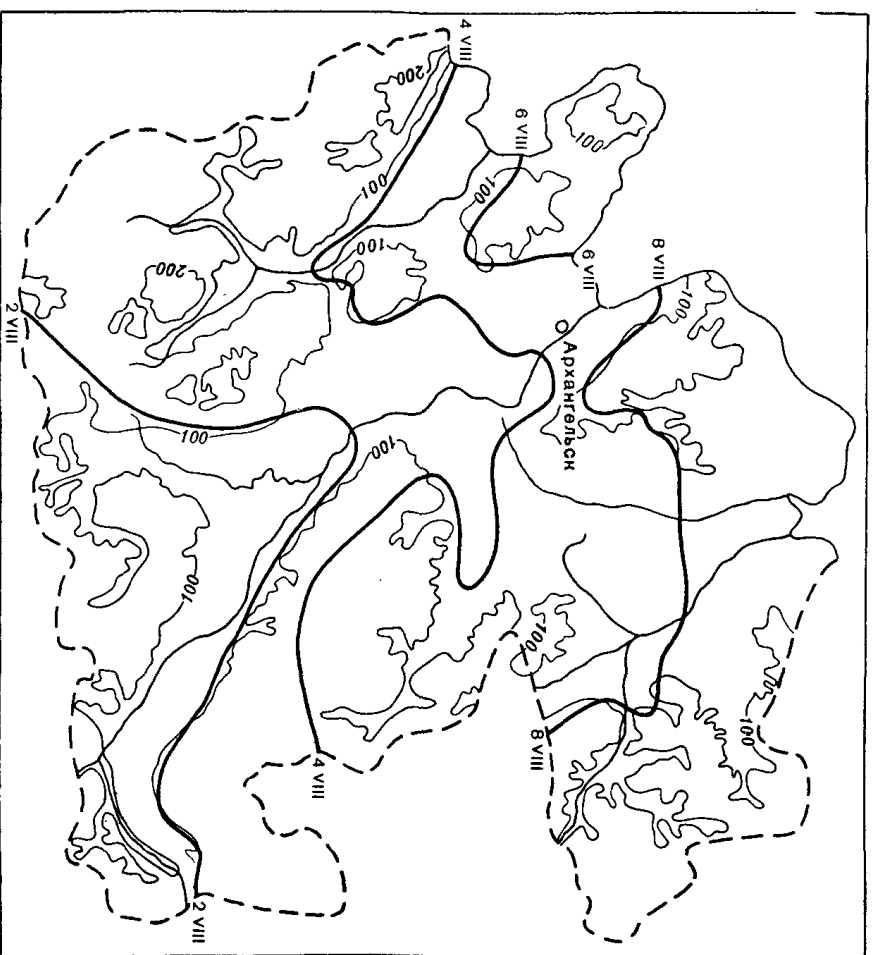


Рис. 57. Карта цветения раннеспелых сортов картофеля при посадке в средние многолетние оптимальные сроки сева.

Предлагаемая методика аналитического способа фенологического картографирования может найти широкое применение в агроклиматических исследованиях различного рода по всем сельскохозяйственным культурам.

4.4. Особенности методики фенологического картографирования в горных условиях

Принципиальные положения методики фенологического картографирования в горных районах изложены в работах [55, 72 и др.].

Обработка первичного фенологического материала проводится в соответствии с «Руководством по контролю и обработке наблюдений над фазами развития сельскохозяйственных культур» [79]. При анализе определяются пределы средних суточных температур, а также сумм эффективных и активных температур, необходимых для наступления определенной фазы развития растений.

Даты наступления фенотаз в горных условиях рекомендуется рассчитывать по отдельным годам, а затем их осреднять [72]. Таким образом, в расчетных датах уже учтено влияние теплых и холодных зим и весен, на которые растения чутко реагируют. При расчете фенотаз необходимо учитывать также и местоположение наблюдательных участков. Так, в условиях теплых долин, в дни интенсивных зимних или ранних весенних оттепелей некоторые зимующие растения начинают слабо вегетировать за счет высоких дневных температур. Поэтому в южных районах невозможно с помощью температурных показателей определить начало вегетации таких рано пробуждающихся плодовых, как кизил, миндаль, абрикос и др. Начало первых весенних фаз развития этих растений целесообразно отмечать по фактическим наблюдениям.

В предгорных и горных районах с более устойчивыми зимами подсчеты средних многолетних дат с помощью температурных показателей дают удовлетворительные результаты, особенно для культур, слабо реагирующих на провокационные оттепели.

По выявленным температурным уровням или суммам температур подсчитывают даты наступления фазы.

Возможны и другие методы расчета. Ш. И. Перивазе [109] для территории Закавказья получил следующие зависимости для расчета дат наступления фенотаз:

$$D = 1/IV + (57 - n), \quad (54)$$

где D — дата развертывания первых листьев шелковицы, n — число дней от $1/X$ до перехода средней суточной температуры воздуха через 10° .

Средние сроки цветения плодовых культур определены Ш. И. Перивазе на основе выявленной связи между средней температурой марта и началом цветения:

$$D = 20/IV + 3,33(5 - t), \quad (55)$$

для яблони

$$D = 20/IV + 4(6 - t), \quad (56)$$

где D — средняя дата начала цветения, t — средняя месячная температура марта.

Средние сроки цветения и созревания плодовых по [109] хорошо согласуются с датами перехода температуры выше определенных пределов. Например, цветение персика приходится на 30-й день, абрикоса на 27-й день после перехода температуры через 5° . Созревание абрикоса в среднем имеет место на 57-й день, черешни — на

45-й день, сливы позднеспелых сортов — на 94-й день после пере-
хода температуры через 15°.

Перевезде указывает также на хорошую зависимость между да-
тами перехода температуры через определенные пределы и началом
основных фаз развития других сельскохозяйственных культур на
данных и других территориях. Например, цветение винограда в За-
кавказье в среднем имеет место на 30-й день, на Северном Кав-
казе — на 32-й день, в республиках Средней Азии — на 37—38-й день

после перехода температуры воздуха че-
рез 15° и др. Имеют значение не только
климатические особенности конкретного
района, но и биология культур.

Расчетные даты, полученные тем или
иным методом, сопоставляются с факти-
ческими наблюдаемыми датами по от-
дельным пунктам. Если разница фактиче-
ских и расчетных дат не превышает двух
дней, метод считается пригодным для
дальнейших расчетов.

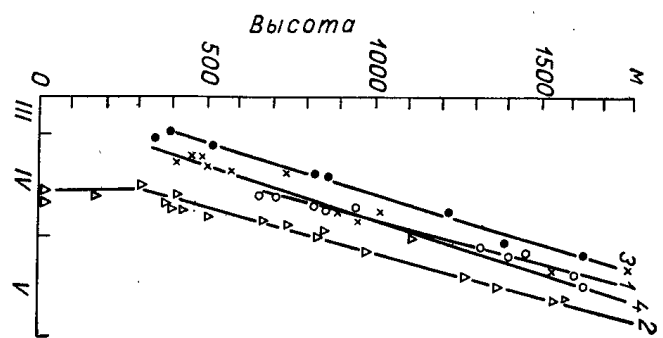


Рис. 58. Даты цветения яб-
лонь в горных районах Кав-
каза и Средней Азии в зави-
симости от высоты станции
над уровнем моря.

1 — юго-западный склон Малого
Кавказа, 2 — северо-восточный
склон Малого Кавказа, 3 — Кур-
хандарьинская, Гиссарская и
Вахшская долины, 4 — Ферган-
ская долина.

фенологического режима в зависимости от различных элементов
рельефа. Например, на дне широких эллипсообразных долин мери-
дионального направления со слабым продольным уклоном, где
в ночные часы наблюдается некоторый застой холодного воздуха,
ранней весной развитие растений отстает примерно на 3—4 дня по
сравнению с развитием растений в U-образных долинах такого же
направления. Но по сравнению с горными котловинами в этих доли-
нах растения развиваются на 3—4 дня раньше. На горных плато, где
ночные инверсии температуры слабее, растения весной развиваются

В процессе составления карты весь
материал, фактический и расчетный, на-
носится на рабочую основу, в качестве
которой желательно использовать круп-
номасштабную карту с хорошей гипсо-
метрией. На карте выявляются районы
с более или менее однородным характе-
ром материала и устанавливаются раз-
ности в фенологических режимах этих
районов, а также причины, обусловли-
вающие их.

Последующий этап работы — гради-
ентный анализ. В горных районах веду-
щим фактором, определяющим скорость
развития растений, является абсолютная
высота. Строятся корреляционные гра-
фики зависимости сроков наступления
фаз развития от высоты, но обязательно
с учетом элементов рельефа горной си-
стемы. Исследования ряда авторов [22,
71, 72, 119] выявляют своеобразие фито-

на 4—5 дней раньше, чем на дне котловин. При градиентном ана-
лизе необходимо учесть все эти особенности и выразить их количе-
ственно, а также необходимо отразить зависимость сроков насту-
пления фаз на склонах различной экспозиции.

Например, для Кавказа [61] построены графики зависимости
цветения яблонь от высоты места над уровнем моря (рис. 58).
С этих графиков снимаются высоты прохождения изотерм цветения
яблонь в зависимости от склона горной системы (табл. 40).

Таблица 40
Даты начала цветения яблонь в зависимости от высоты
над уровнем моря (м) и экспозиции склонов

Дата	Юго-запад- ный склон Малого Кавказа	Северо- восточный склон Малого Кавказа	Южный склон Большого Кавказа	Северный склон Большого Кавказа	Северо- восточный склон Большого Кавказа
20 IV	700	400	400	—	—
25 IV	950	600	600	0—300	—
30 IV	1100	800	700	350	0—200
5 V	1300	950	850	550	450
10 V	1500	1150	1000	750	600
15 V	1650	1350	—	950	750
20 V	—	1500	—	—	—

После получения высотных градиентов на карте проводятся изо-
фены. Однако следует учесть, что сильная изрезанность рельефа и
большая крутизна склонов, создающие значительные различия в на-
ступлении фаз развития растений в горных районах, не позволяют
выдерживать единый предел детализации для всей карты. Поэтому
изофены вполне допустимо проводить с разными интервалами, ис-
ходя из особенностей рельефа.

Раздел 5. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Для количественной оценки условий формирования урожая
сельскохозяйственных культур необходимо:

- 1) установить связь урожая культуры с основными климатиче-
скими факторами, т. е. получить агроклиматические показатели
формирования урожая;
- 2) на основе полученных агроклиматических показателей рай-
онировать территорию по продуктивности культуры (в абсолютных
или относительных величинах).

5.1. Методы расчета количественных агроклиматических показателей формирования урожая

В принципе большинство методов расчета количественных агроклиматических показателей формирования урожая сводится к статистической обработке массовых материалов наблюдений за состоянием или урожаями (областными, госсортоучастков и др.) сельскохозяйственных культур и гидрометеорологическими факторами. Применение методов математической статистики в агрометеорологии освещается в работах [75, 103, 104 и др.].

При разработке связи урожая культуры с метеорологическими факторами на основе большого количества наблюдений определяется форма связи и находится уравнение этой связи. Затем дается оценка тесноты связи.

Уравнения, полученные на основе статистического анализа экспериментальных данных, называются эмпирическими. Из встречающихся форм корреляционных связей между элементами пространства как линейные, так и нелинейные. Следует заметить, что задача выбора формы связи (типа линии связи) бывает трудной. При графическом изображении точки часто располагаются так, что можно провести ряд линий различных типов (прямая, парабола и др.). Поэтому выбору вида линии должен предшествовать логический анализ, обусловленный знанием общих закономерностей исследуемых явлений.

Для выбора формы статистической связи нужно ознакомиться с видами линий и их уравнениями в работах [103, 104 и др.]. Не имея возможности приводить примеры решения всех видов уравнений, мы ограничимся здесь наиболее практически используемыми. Они взяты нами из работы Е. С. Улановой и О. Д. Сиротенко [104]. Несмотря на то что рассматриваемые связи применены Улановой для прогностических целей, они с успехом могут быть использованы также и для агроклиматических расчетов, особенно в региональных исследованиях.

а. **Расчеты уравнения линейной связи двух переменных величин по неструктурированным данным (зависимость урожая озимой пшеницы от весенних запасов влаги в почве).** Пример расчета уравнения регрессии и коэффициента корреляции относится к случаям, когда число их не слишком велико (не больше 100). На рис. 59 показана зависимость урожая озимой пшеницы от весенних запасов влаги в почве. Эта зависимость более четко проявляется в зоне недостаточного летнего увлажнения почвы на Украине и Северном Кавказе. В пределах запасов продуктивной влаги весной в метровом слое почвы от 100 до 200 мм при благоприятных осенних и зимних условиях, когда весной число стеблей у озимой пшеницы на 1 м² составляет 1000—2000, при высокой агротехнике для одного и того же сорта эта зависимость урожая озимой пшеницы от весенних запасов влаги является прямой.

Урожай y — зависимая переменная величина от запасов влаги — является функцией. Запасы влаги весной x — независимая от уро-

жая переменная величина — является аргументом. Данные каждого года x и y под одним порядковым номером помещаются в таблицу — сводку, где имеется 100 сопряженных значений x и y , т. е. n — общее число случаев, равное 100. После этого, отложив на вертикальной оси значения y — урожай озимой пшеницы, а на горизонтальной оси значения x — запасов влаги весной, для каждой пары значений x и y (откладывая их одновременно) получают точки на плоскости с координатами x и y , т. е. корреляционное поле из 100 случаев пар двух переменных величин x и y .

По расположению точек на графике ясно видно, что между этими величинами существует тесная линейная корреляционная связь, для которой необходимо найти уравнение прямой линии регрессии и коэффициент корреляции, определяющий степень тесноты этой связи.

Для нахождения коэффициента корреляции и уравнения прямой регрессии удобнее всего использовать формулу

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} = \frac{\sum \Delta x \cdot \Delta y}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}}, \quad (57)$$

где r — линейный коэффициент корреляции между x и y ; x и y — средние арифметические величины соответствующих признаков x и y . Для облегчения расчетов по указанной формуле необходимо составить табл. 41 и определить указанные в ней величины.

В графе 1 таблицы ставятся порядковый номер пары наблюдений x и y . В графах 2 и 3 даются значения каждой пары x и y , относящиеся к одному году и одному полю. В графах 4 и 5 рассчитываются отклонения каждого x_i и y_i от их средних арифметических величин $(x - \bar{x})$, где берется алгебраическая разность с учетом знака. В графах 6 и 7 вычисляются квадраты отклонений, а в графе 8 — произведение отклонений (с учетом знака). Графы 9 и 10 рассчитываются для контроля.

Таким образом, для расчета указанных граф табл. 41 мы в первую очередь должны найти средние арифметические значения x и y . В нашем примере

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{15300}{100} = 153; \quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{2650}{100} = 26,5.$$

Найдя отклонения $\Delta x = x_i - \bar{x}$ и $\Delta y = y_i - \bar{y}$, их произведение $\Delta x \Delta y$, их квадраты Δx^2 и Δy^2 , а также суммы этих величин, мы должны провести контроль наших расчетов по формуле:

$$\sum (x - \bar{x})^2 + \sum (y - \bar{y})^2 + 2 \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) = \sum [(x - \bar{x}) + (y - \bar{y})]^2.$$

Если расчеты в таблице верны, то значения чисел левой и правой частей формулы будут одинаковы, в противном случае необходимо произвести пересчет, поскольку указанное равенство должно

быть соблюдено. Только после этого можно приступать к дальнейшим расчетам коэффициента корреляции и уравнения регрессии.

Таблица 41
Пример расчета уравнения зависимости урожая озимой пшеницы y
от запасов продуктивной влаги весной x
(корреляция двух переменных величин для негруппированных данных)

№ п/п	x	y	$\Delta x = x - \bar{x}$ $= x - 128$	$\Delta y = y - \bar{y}$ $= y - 36,5$	$\Delta x^2 = (x - \bar{x})^2$	$\Delta y^2 = (y - \bar{y})^2$	$\Delta x \Delta y = (x - \bar{x})(y - \bar{y})$	$\Delta x + \Delta y = (x - \bar{x}) + (y - \bar{y})$	$(\Delta x + \Delta y)^2 = [(x - \bar{x}) + (y - \bar{y})]^2$
1	100	8	-28	-28,5	784	812,25	-796	-20,5	420,25
2	100	10	-28	-16,5	784	272,25	-468	-11,5	132,25
3	100	15	-28	-11,5	784	132,25	-322	-39,5	1560,25
4	100	16	-28	-10,5	784	110,25	-294	-38,5	1483,25
5	100	18	-28	-8,5	784	72,25	-238	-36,5	1332,25
6	105	14	-23	-12,5	529	156,25	-287,5	-35,5	1260,25
7	105	18	-23	-8,5	529	72,25	-195,5	-31,5	993,25
8	110	16	-18	-10,5	324	110,25	-189	-28,5	812,25
9	115	14	-13	-12,5	169	156,25	-162,5	-25,5	650,25
10	115	16	-13	-10,5	169	110,25	-145,5	-23,5	552,25
11	118	19	-10	-7,5	100	56,25	-75	-17,5	306,25
12	118	18	-10	-8,5	100	72,25	-85	-18,5	342,25
13	120	36	-8	29,5	64	870,25	-236	21,5	462,25
14	122	19	-6	-7,5	36	56,25	-45	-13,5	182,25
15	128	16	0	-10,5	0	110,25	0	-10,5	110,25
Σ	1000	2650	0	0	60049	4777	14705	0	942361

В нашем примере контроль показал правильность расчетов:

$$\begin{aligned} \sum (x - \bar{x})^2 + \sum (y - \bar{y})^2 + 2 \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) &= \\ = 60049 + 4777 + 2 \cdot 14705 = 94236; \\ \sum [(x - \bar{x}) + (y - \bar{y})]^2 &= 94236. \end{aligned}$$

Коэффициент корреляции r находим по формуле (57):

$$\begin{aligned} r &= \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}} = \frac{\sum \Delta x \Delta y}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}} = \\ &= \frac{14705}{\sqrt{60049 \cdot 4777}} = 0,86. \end{aligned}$$

Средняя ошибка коэффициента корреляции

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} = \frac{1 - (0,86)^2}{\sqrt{100}} = 0,026.$$

Найдем вероятную ошибку коэффициента корреляции r

$$E_r = 0,67 \sigma_r = 0,67 \cdot 0,026 = 0,017.$$

Отсюда вероятное значение коэффициента корреляции заключено в пределах

$$r \pm E_r = 0,86 \pm 0,017 = \begin{cases} 0,88 \\ 0,84. \end{cases}$$

Предельная величина r близка к $\pm 4E_r$, или $r \pm 3\sigma_r$:

$$\begin{aligned} r \pm 4E_r &= 0,86 \pm 0,07 = \begin{cases} 0,93 \\ 0,79, \end{cases} \\ r \pm 3\sigma_r &= 0,86 \pm 0,08 = \begin{cases} 0,94 \\ 0,78. \end{cases} \end{aligned}$$

Как следует из этих расчетов, на Украине и на Северном Кавказе наблюдается очень тесная связь урожай озимой пшеницы с весенними запасами влаги; коэффициент корреляции ее очень высокий ($r = 0,86$), а его ошибки небольшие. Даже с учетом этих ошибок предельная величина коэффициента корреляции не становится меньше 0,78, что говорит о хорошей связи между указанными величинами.

Перейдем теперь к расчету уравнения прямой линии регрессии по формуле $y - \bar{y} = R(x - \bar{x})$, где R — коэффициент уравнения регрессии,

$$R_{y/x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad (58)$$

где σ_y и σ_x — средние квадратические отклонения:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{60049}{100}} = 24,5,$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n}} = \sqrt{\frac{4777}{100}} = 6,9,$$

откуда

$$R = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0,86 \frac{6,9}{24,5} = 0,24.$$

Подставляя значения x , y , R в уравнение прямой линии, получаем

$$y - 26,5 = 0,24(x - 128); \quad y = 0,24x - 36,72 + 26,50.$$

Отсюда получаем уравнение прямой линии окончательного вида, характеризующее найденную нами зависимость,

$$y = 0,24x - 10,22,$$

где y — урожай озимой пшеницы в (ц/га), x — запасы продуктивной влаги (в мм) в метровом слое почвы весной при переходе средней декадной температуры воздуха через 5° .

Определим среднюю квадратическую ошибку найденного уравнения регрессии:

$$S_y = s_y \sqrt{1 - r^2} = 6,9 \sqrt{1 - (0,86)^2} = \pm 3,5 \text{ ц/га}.$$

При нахождении уравнений корреляционных связей следует указывать пределы их действия. Найденное нами уравнение, как было

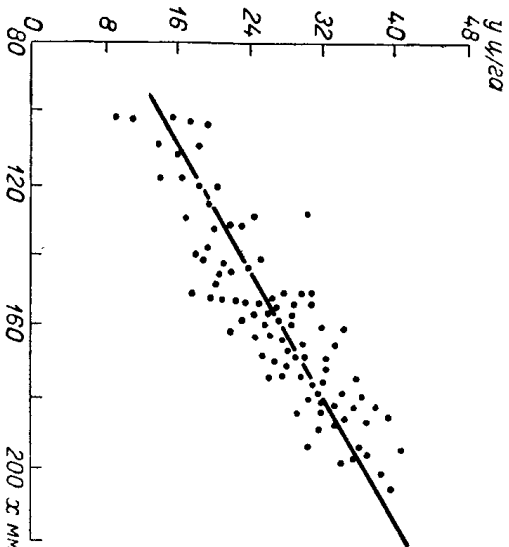


Рис. 59. Зависимость урожая озимой пшеницы от весенних запасов влаги в почве на Украине и на Северном Кавказе при числе стеблей пшеницы весной 1000—2000 на 1 м².

указано выше, действует в пределах значений весенних запасов влаги от 100 до 200 мм.

По указанному уравнению, задавая различные значения x , находим значения y и строим теоретическую линию регрессии y по x (рис. 59). Например, $x = 100$ мм, $y = 13,8$ ц/га. Отмечаем эту точку на графике. При $x = 200$ мм, $y = 37,8$ ц/га получаем вторую точку на графике. Через две указанные точки проводим прямую линию. Это и будет искомая теоретическая линия регрессии, уравнение которой $y = 0,24x - 10,22$.

При нахождении теоретической линии регрессии достаточно задать только два значения x и, рассчитав два значения y , получить на графике две точки. Как известно, через две точки можно провести только одну прямую. Поэтому, имея две точки, можно провести искомого теоретическую линию прямой регрессии, уравнение которой найдено.

6. Расчет уравнения параболической связи и корреляционного отношения зависимости урожая озимой пшеницы от весенних запасов влаги при загушении посевов. Проведен анализ данных по

урожайности озимой пшеницы сортов Одесская 3 и Одесская 16 и по весенним запасам влаги на Украине и на Северном Кавказе. Выделены годы, когда озимая пшеница имела весной очень большое число стеблей (2000—2600) на 1 м², и построено корреляционное поле связи урожая озимой пшеницы в эти годы с весенними запасами влаги (рис. 60). На этом графике видно, что связь явно криволинейная. Урожай растут при увеличении запасов влаги весной до 170—180 мм, в годы же, когда сильная загушенность посевов сочетается с большими запасами влаги весной, урожай снижается.

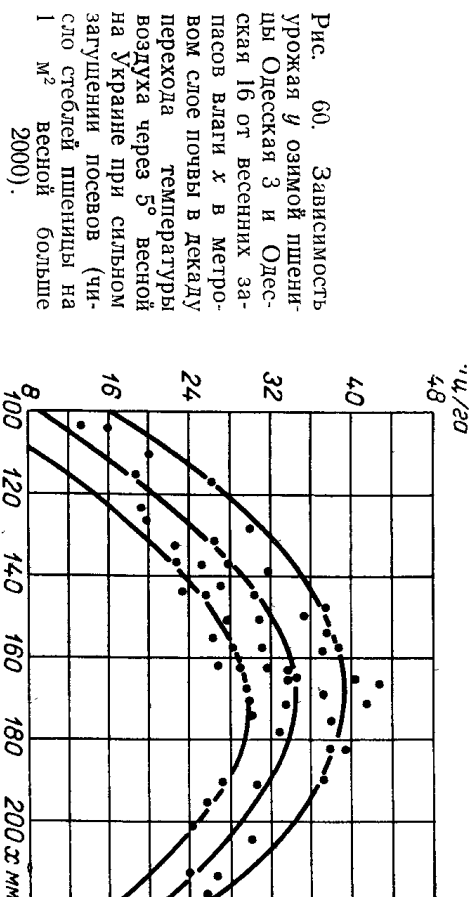


Рис. 60. Зависимость урожая y озимой пшеницы Одесская 3 и Одесская 16 от весенних запасов влаги x в метровом слое почвы в декаду перехода температуры воздуха через 5° весной на Украине при сильном загушении посевов (число стеблей пшеницы на 1 м² весной больше 2000).

Таким образом, при графическом изображении видно, что точки располагаются в виде параболической кривой.

Рассчитаем параметры уравнений для параболы второго порядка, общий вид уравнения которой

$$y = ax^2 - bx + c. \quad (59)$$

Будем вести расчеты методом группировки данных по частотам $m_{x_i y_i}$, который будет нам также необходим и для расчета корреляционного отношения. Для определения параметров уравнения необходимо решить систему уравнений вида:

$$\begin{aligned} c \sum m_{x_i} + b \sum m_{x_i} x_i + a \sum m_{x_i} x_i^2 &= \sum m_{x_i} y_i, \\ c \sum m_{x_i} x_i + b \sum m_{x_i} x_i^2 + a \sum m_{x_i} x_i^3 &= \sum m_{x_i} x_i y_i, \\ c \sum m_{x_i} x_i^2 + b \sum m_{x_i} x_i^3 + a \sum m_{x_i} x_i^4 &= \sum m_{x_i} x_i^2 y_i. \end{aligned} \quad (60)$$

Следовательно, нам нужно определить частоты m_{x_i} для y при определенных значениях x и рассчитать условные средние \bar{y}_{x_i} по каждому значению середины интервала x . Для этого составим корреляционную таблицу (табл. 42). Разбив на интервалы ось x

и ось y (рис. 60), проводим вертикальные и горизонтальные линии по этим интервалам, которые дадут нам столбцы или строки табл. 42.

Таблица 42
Корреляционная таблица зависимости урожая озимой пшеницы y от весенних запасов влаги x при числе стеблей пшеницы 2000—2600 на 1 м² весной (связь параболическая)

Интервал	x	100—120	120—140	140—160	160—180	180—200	200—220	m_{y_i}
y	Средняя интервала	110	130	150	170	190	210	
12—16	14	2	0					2
16—20	18	2	2					4
20—24	22	0	3					6
24—28	26	1	3	1				15
28—32	30		2	6	1	2	2	12
32—36	34			3	5	1	1	6
36—40	38			1	2	0		9
40—44	42			4	3	3		3
Σm_{x_i}	5	10	15	16	6	5		57
\bar{y}_{x_i}	18,0	24,0	30,3	34,2	32,7	25,2		29

Подсчитываем на рис. 60 число точек в каждой клетке, соответствующей определенному интервалу x и y , и заносим это число в корреляционную таблицу — в графу с такими же интервалами. Получаем частоты m_{x_i} значений y для определенной величины x — редины интервала x_i .

Подсчитываем сумму частот m_{x_i} или m_{xy} по вертикальным столбцам и находим для каждого столбца условное среднее \bar{y}_{x_i} по формуле

$$\bar{y}_{x_i} = \frac{\sum m_{xy}}{\sum m_{x_i}};$$

- $\bar{y}_{x=110} = \frac{2 \cdot 14 + 2 \cdot 18 + 0 \cdot 22 + 1 \cdot 26}{5} = 18,0;$
- $\bar{y}_{x=130} = \frac{0 \cdot 14 + 2 \cdot 18 + 3 \cdot 22 + 3 \cdot 26 + 2 \cdot 30}{10} = 24,0;$
- $\bar{y}_{x=150} = \frac{1 \cdot 22 + 6 \cdot 26 + 3 \cdot 30 + 1 \cdot 34 + 4 \cdot 38}{15} = 30,3;$
- $\bar{y}_{x=170} = \frac{1 \cdot 26 + 5 \cdot 30 + 5 \cdot 34 + 2 \cdot 38 + 3 \cdot 42}{16} = 34,2;$

$$5. \bar{y}_{x=190} = \frac{2 \cdot 26 + 1 \cdot 30 + 0 \cdot 34 + 3 \cdot 38}{6} = 32,7;$$

$$6. \bar{y}_{x=210} = \frac{2 \cdot 22 + 2 \cdot 26 + 1 \cdot 30}{5} = 25,2.$$

Затем находим общее среднее значение \bar{y} . По формуле

$$\bar{y} = \frac{\sum m_{x_i} \bar{y}_{x_i}}{n}$$

находим среднее значение

$$\begin{aligned} \bar{y}_{\text{общ}} &= \frac{5 \cdot 18 + 10 \cdot 24 + 15 \cdot 30,3 + 16 \cdot 34,2 + 6 \cdot 32,7 + 5 \cdot 25,2}{57} \\ &= \frac{1654}{57} = 29,02. \end{aligned}$$

После этого рассчитываем величины сумм, указанные в системе уравнений, по табл. 43. Подставляем их в систему уравнений и получаем:

$$\begin{aligned} 57c + 9010b + 1466500a &= 1654, \\ 9010c + 1466500b + 245317000a &= 266037, \\ 1466500c + 245317000b + 42088570000a &= 43824750. \end{aligned}$$

Решаем указанную систему уравнений.

1. Делим каждое уравнение на коэффициенты при c :

$$\begin{aligned} c + 158,07b + 25728,07a &= 29,02, \\ c + 162,76b + 27227,19a &= 29,53, \\ c + 167,28b + 28700,01a &= 29,88. \end{aligned}$$

2. Вычитаем из второго и третьего уравнений первое и получаем систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{aligned} 4,69b + 1499,12a &= 0,51; \\ 9,21b + 2971,94a &= 0,86. \end{aligned}$$

3. Делим уравнения на коэффициенты при b :

$$\begin{aligned} b + 319,642a &= 0,109; \\ b + 322,686a &= 0,093. \end{aligned}$$

4. Вычитая из второго уравнения первое, находим значение параметра a :

$$\begin{aligned} 3,044a &= -0,016, \\ a &= -\frac{0,016}{3,044} = -0,0052. \end{aligned}$$

Подставляя значение a в одно из предыдущих уравнений, находим значения параметра b :

$$b = 0,109 - 319,642(-0,0052) = 1,77.$$

Найдем величину общей дисперсии:

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2 m_{y_i}}{n}; \quad (64)$$

$$+ \frac{(14 - 29)^2 \cdot 2 + (18 - 29)^2 \cdot 4 + (22 - 29)^2 \cdot 6 + (26 - 29)^2 \cdot 15}{57} +$$

$$+ \frac{(30 - 29)^2 \cdot 12 + (34 - 29)^2 \cdot 6 + (38 - 29)^2 \cdot 9 + (42 - 29)^2 \cdot 3}{57} =$$

$$= \frac{2761}{57} = 48,44.$$

Рассчитаем корреляционное отношение:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma^2(y_x)}{\sigma_y^2}} = \sqrt{\frac{25,74}{48,44}} = \sqrt{0,53} = 0,73.$$

Средняя ошибка корреляционного отношения

$$\sigma_\eta = \frac{1 - \eta^2}{\sqrt{n}} = \frac{1 - (0,73)^2}{\sqrt{57}} = \frac{0,47}{7,55} = 0,06.$$

Таким образом, η находится в пределах

$$\eta \pm \sigma_\eta = \begin{cases} 0,79 \\ 0,67. \end{cases}$$

Находим ошибку уравнения криволинейной регрессии по формуле (61).

По расчетам, $\sigma_y^2 = 48,44$, следовательно, $\sigma_y = 6,96$.

$$S_y = 6,96 \sqrt{1 - (0,73)^2} = \pm 4,8 \text{ ц/га.}$$

В агроклиматологии очень часто для установления количественных показателей применяется графический метод. На основе достаточно большого числа случаев сопряженных наблюдений за урожаем культуры и метеорологическими элементами строятся графики связи урожая с отдельными факторами климата или с комплексом факторов. Графические связи устанавливаются только после тщательного критического анализа материала, а также логического осмысливания возможной зависимости для конкретных условий.

Пример обработки материала графическим методом приводится на рис. 61, где показана связь урожая сахарной свеклы с суммой активных температур и показателем увлажнения [36].

Для построения графика использованы данные урожаяв госсортоучастков по стандартному сорту сахарной свеклы на черноземках и каштановых почвах за период от 5 до 14 лет в основном с 1950 по 1961 г. (274 годослучая). Предварительно проведен критический анализ материала. Отобраны и исключены из обработки годы со снегозадержанием, с сильно изреженными всходами, а также со значительным повреждением посевов вредителями и болезнями и др.

Параллельно по данным близлежащих метеорологических станций, репрезентативных для госсортоучастков, подсчитаны сумма активных температур за период вегетации сахарной свеклы и показатель увлажнения по формуле (22).

При установлении связи урожая сахарной свеклы с метеорологическими факторами автор исходил из известного положения, что в основных районах свекловодства страны урожай стандартного

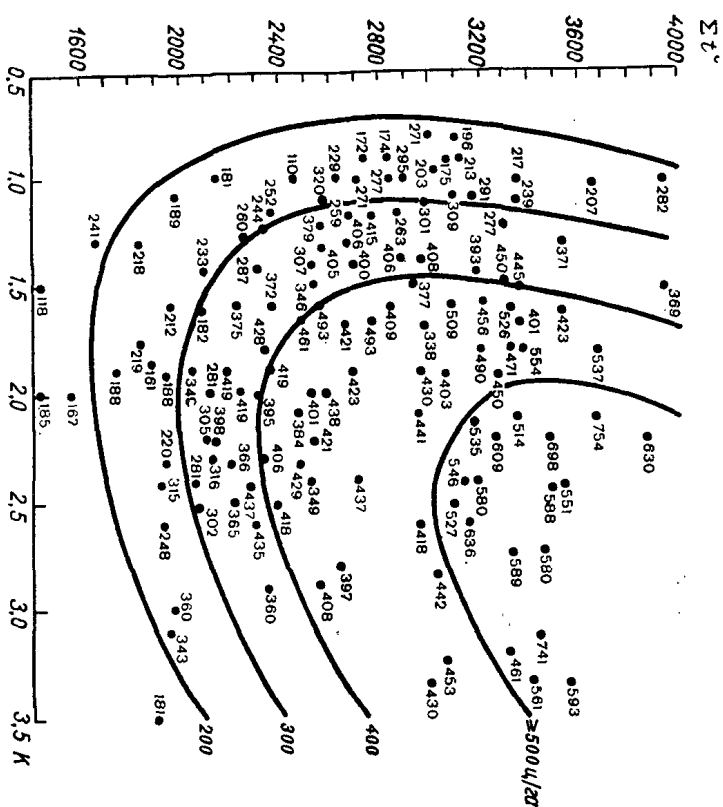


Рис. 61. Связь урожая корней сахарной свеклы (ц/га) с суммой активных температур Σt° за вегетационный период и коэффициентом увлажнения K .

сорта сахарной свеклы при сравнительно одинаковом уровне агротехники (госсортоучастки) определяется тепло- и влагообеспеченностью. По исходным урожайным данным, суммам активных температур и показателю увлажнения построен график (рис. 61), на оси x которого отложен коэффициент увлажнения K , а на оси y — сумма температур, в поле координат — урожай корней сахарной свеклы.

По данным установлена криволинейная связь: урожай корней возрастает с увеличением сумм температур и показателя увлажнения. При недостатке тепла урожай остается низким при любых условиях влагообеспеченности, то же наблюдается и при недостатке влаги — сумма температур не компенсирует влагу.

В поле координат графика путем интерполяции данных урожая корней проведена система кривых с интервалом 100 ц/га. В качестве критерия точности принято среднее квадратическое отклонение рассчитанного урожая от фактического по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum n_x(x - \bar{x})^2}{n}} \quad (65)$$

Расчитанные урожай снимаются с графика, т. е. откладывая фактические суммы температур и показатель увлажненности за каждый год на осях y и x и проводя от них прямые до пересечения, получаем путем интерполяции величины урожая.

В табл. 44 дан пример расчета среднего квадратического отклонения.

Таблица 44

Определение величины среднего квадратического отклонения σ рассчитанного урожая от фактического (сахарная свекла)

№ п/п	Урожай, ц/га		$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
	фактический	расчитанный		
1	442	490	48	2 304
2	378	485	107	11 449
3	408	411	3	9
4	397	430	33	1 089
5	440	440	43	1 849
6	437	450	13	169
7	328	358	30	900
8	322	325	3	9
9	285	315	30	900
10	281	290	9	81
Σ			2437	667 802
Среднее	320	330	10	100
270	380	350	30	900
271	360	345	15	225
272	320	310	10	100
273	179	275	96	9 216
274	274	—		
n				

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum n_x(x - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{667\,802}{274}} = \sqrt{2437} = \pm 49,4$$

Д. И. Шашко также применил графический способ для установления корреляционной связи между годовыми значениями показателя увлажненности

$$Md = \frac{P(\text{осадки})}{E - e(\text{дефицит влажности воздуха в мб})}$$

и урожайем сельскохозяйственных культур, полученным в условиях определенной агротехники (рис. 62). Автором использованы урожайные данные госсортоучастков в среднем за 1945—1949 гг. Принцип построения графика очень прост. На оси y откладываются средние урожай, а на оси x — значения Md . По точкам в поле координат с помощью интерполяции проводится кривая. Затем рассчитывается среднее квадратическое отклонение фактических данных урожайности культур от вычисленных по графикам. На графике $\sigma = \pm 2-3$ ц/га.

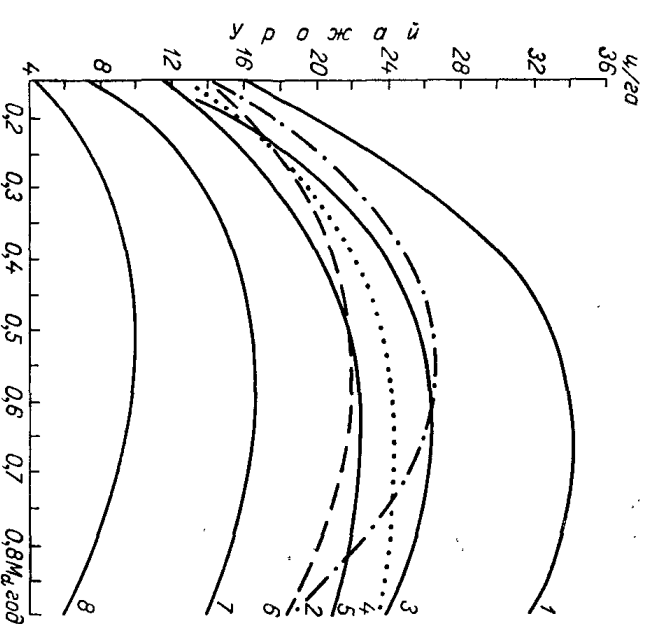


Рис. 62. Связь урожайности сельскохозяйственных культур и значений показателя увлажнения Md за год.

1 — кукуруза, 2 — озимая пшеница, 3 — озимая рожь, 4 — овес, 5 — ячмень, 6 — просо, 7 — яровая пшеница, 8 — гречиха.

Возможно установление зависимости урожайности культур от метеорологических факторов в виде таблиц-номограмм. Е. В. Бессонова [13] нашла связь между урожайностью проса и увлажнением двух межфазных периодов: всходы—выметывание и выметывание—высокая спелость. В качестве показателя увлажнения она взяла ГТК за указанные межфазные периоды. В результате осреднения урожайных данных по отдельным грациям увлажнения Бессоновой разработана схема-номограмма (табл. 45).

Высокие урожай в этой таблице имеют узкие пределы и указывают на величину оптимального увлажнения с равномерным распределением осадков за время вегетации проса. При низких пока-

Связь показателей увлажненности двух последующих фаз развития проса с урожайными данными (ц/га)

Показатель увлажненности фазы — выметывание — восковая спелость	Показатель увлажненности фазы выметывание — восковая спелость														
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
Увлажненности фазы — выметывание	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Увлажненности фазы — восковая спелость	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Урожайные данные (ц/га)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

зателей увлажнения 0,3—0,6 в начале вегетации и при высоких показателях 0,9—2,0 в последующий период урожай также могут быть достаточно хороши, что указывает на большую стойкость этой культуры к засушливым условиям. При чрезмерном увлажнении (показатель 1,7—2,0) происходит заметное снижение урожая.

В последнее время разрабатываются более сложные математические расчеты количественных агроклиматических показателей связи урожая культур с метеорологическими факторами с использованием ЭВМ. Однако большинство из них не доведено до практического решения. Частично эти методы излагаются в работах [76, 104].

5.2. Оценка условий формирования урожая сельскохозяйственных культур и районирование территорий по продуктивности культур

Оценка условий формирования урожая дается на основе установленных показателей связи урожая культур с климатическими факторами. Например, по схеме-номограмме Бессоновой (табл. 45) и по распределению ГТК за указанные межфазные периоды, рассчитанному по большому числу пунктов, можно дать оценку территории по продуктивности проса. Если на данной территории показатель увлажнения за период всходы—выметывание равен 1,3,

а за период выметывание—восковая спелость 1,5, то урожай проса составит 22 ц/га и т. д.

Оценка условий произрастания культуры и условий формирования урожая может быть дана с помощью карты. Ниже рассматривается пример агроклиматического районирования СССР по продуктивности конопли [91].

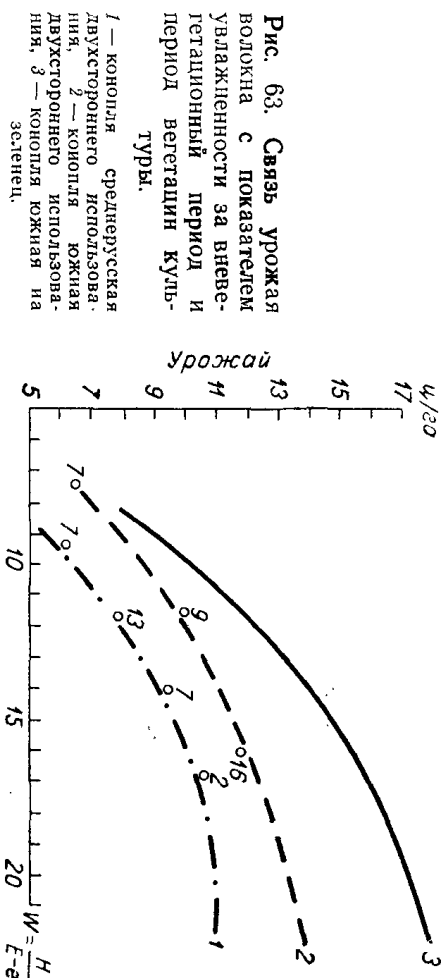


Рис. 63. Связь урожая конопли с показателем увлажненности за вегетационный период и период вегетации культуры.

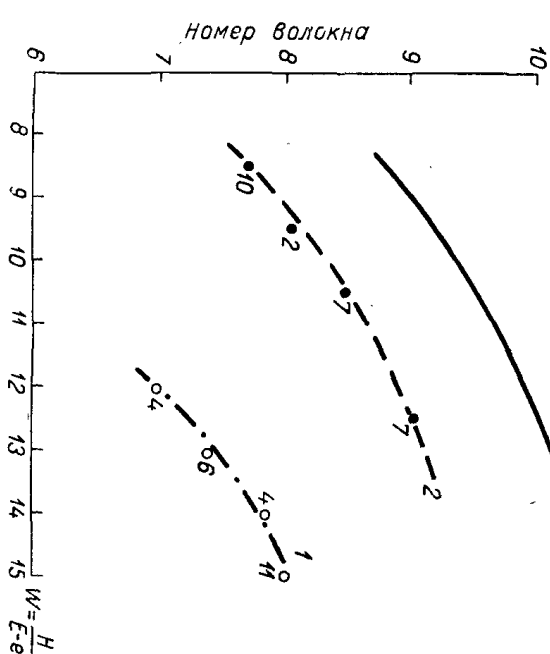


Рис. 64. Связь номера волокна конопли с показателем увлажненности за вегетационный период и период вегетации культуры.

Вышеизложенными способами разработаны связи урожая волока конопли и номера волокна с показателями увлажненности за вегетационный период и период вегетации культуры (рис. 63 и 64). Имея эти графики и зная распределение по территории СССР климатических показателей, составляют карту агроклиматического районирования конопли (рис. 65). На ней выделяются зоны по

The map displays the Arctic region with a grid of latitude and longitude lines. The legend in the bottom left corner defines the vegetation types using different hatching patterns:

- A**: Diagonal lines (top-left to bottom-right).
- B**: Diagonal lines (bottom-left to top-right).
- C**: Horizontal lines.
- D**: Vertical lines.
- E**: Cross-hatching.
- F**: Stippled pattern.
- G**: Dotted pattern.
- H**: Checkered pattern.
- I**: Diagonal lines (top-left to bottom-right).
- J**: Diagonal lines (bottom-left to top-right).
- K**: Horizontal lines.
- L**: Vertical lines.
- M**: Cross-hatching.
- N**: Stippled pattern.
- O**: Dotted pattern.
- P**: Checkered pattern.

The map shows the distribution of these vegetation types across the Arctic region, with various areas shaded according to the legend. The map includes a grid of latitude (30, 40, 50, 60) and longitude (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180) lines.

4—зона исключительно зеленцового направления коноплеводства, урожай волокна 6–8 ц/га. 5—зона смешанного коноплеводства, в которой обеспечены вырванные семена среднедревесных сортов конопли и техническая зрелость кожных сортов конопли. Подзоны с урожаем: 1—волока 10–8 ц/га при двухстороннем и 14–10 ц/га при зеленцовом способе возделывания, качество волокна 9–7, урожай семян 9–5 ц/га; 2—волока 8–4 ц/га при двухстороннем и 5–1 ц/га при зеленцовом способе возделывания, качество волокна 7–3, урожай семян 5–1 ц/га; 3—волока менее 4 ц/га низкого качества. 6—зона смешанного коноплеводства, в которой обеспечены вырванные семена разных кожных сортов и техническая зрелость поздних кожных сортов. Подзоны с урожаем: 1—волока 18–11 ц/га при двухстороннем и 13–10 ц/га при зеленцовом способе возделывания, качество волокна 6–8, урожай семян 3–2 ц/га; 2—волока 6–4 ц/га при двухстороннем и 10–6 ц/га при зеленцовом способе возделывания, качество волокна 4, урожай семян 2–1 ц/га; 3—волока менее 4 ц/га низкого качества. 7—зона в основном семенного коноплеводства, в которой обеспечено вырвание семян даже самых поздних сортов конопли. Подзоны с урожаем: 1—волока 11–18 ц/га при двухстороннем и 17–15 ц/га при зеленцовом направлении возделывания, качество волокна 10–6, урожай семян 6–2 ц/га; 2—волока 8–4 ц/га при двухстороннем способе и 10–8 ц/га при зеленцовом способе возделывания, качество волокна 6–4, урожай волокна 2–1 ц/га; 3—волока менее 4 ц/га низкого качества.

Методы оценки агроклиматических условий формирования уро-

(66)

180

2) комбайн не может продуктивно и качественно работать при среднесуточном дефиците влажности воздуха 3 мб и ниже. Наоборот, при подеме дефицита влажности воздуха до 8 и особенно до 10 мб производительность комбайна достигает его проектной мощности. На основе практической работы принимается, что комбайн дает полную проектную выработку при среднесуточном значении дефицита влажности воздуха 8 мб на поле с нормальным травостоем хлеба. Под последним понимается, что хлеб не имеет повышенной засоренности, не полеглый, имеет нормальную высоту и густоту травостоя. Принимается также, что при дефиците влажности от 3 до 8 мб комбайн работает со все повышающейся производительностью (от нуля при 3 мб и до проектной производительности при 8 мб). Для комбайна «С6» проектная производительность составляет 1,56 га в час. Практически при подсчетах количество часов работы комбайна при дефицитах от 3 до 8 мб уменьшалось наполовину и производительность одного часа принималась за 1 га;

3) дефицит влажности воздуха, выраженный через среднесуточное его значение в миллибарах, имеет вполне закономерный суточный ход. Исследования показали, что, зная среднее значение дефицита влажности воздуха за сутки, можно с достоверностью, достаточной для практики, судить о значении дефицита для каждого часа суток. Кривые суточного хода дефицита должны быть построены по материалам ближайшей метеостанции для каждого района страны. Ненадежные материалы получают в тех случаях, когда меняется погода (при прохождении фронтов).

Используя эти положения, а также определив дату наступления полной спелости хлеба (для интересующего нас района — яровой пшеницы преобладающих сортов) и взяв от этой даты десятидневный период, можно найти среднее значение дефицита влажности воздуха для этого периода.

По среднему значению дефицита легко рассчитывается рабочее время комбайна в часах за сутки.

Зная средний декадный дефицит влажности воздуха, его суточный ход и используя показатели Процера, можно для каждой декады периода уборки вычислить число часов за сутки с хорошими, средними и плохими метеорологическими условиями для работы комбайна. Например, если средний декадный дефицит влажности равен 4 мб, то число часов за декаду с хорошими условиями уборки будет равно 35 (3,5·10), со средними условиями 90 (9,0 × 10) и плохими 115 (11,5·10).

Агроклиматическую оценку периода уборки можно выразить также в часах только с хорошими условиями для уборки. При этом число часов со средними метеорологическими условиями для работы комбайна следует уменьшить вдвое, потому что производительность работы комбайна при средних условиях в два раза меньше, чем при хороших. Например, при среднем декадном дефиците влажности 6,0 мб число часов с условно хорошими усло-

виями работы составит 120 (хорошие 8,5·10 = 85 час., средние 7,0·10 $\frac{2}{2}$ = 35, итого условно хороших 85 + 35 = 120 час.).

Если знать среднечасовую производительность комбайна, то оценку метеорологических условий уборки можно выразить не только в часах работ, но и в среднесуточной производительности работы комбайна в гектарах.

Оценку условий уборки целесообразно провести как по средним многолетним данным, так и за отдельные благоприятные и неблагоприятные годы. Если оценку условий уборки провести за длительный ряд наблюдений (не менее 20 лет), то можно составить дополнительную таблицу «Вероятность лет с различным числом часов работы комбайна», которая даст возможность установить повторяемость различных условий работы на комбайнах.

Исходя из производительности работы комбайна и качества уборки зерна, необходимо указать наиболее целесообразную с учетом климатических условий организацию работы комбайна для данной территории.

Климатическую оценку периода уборки лучше всего производить по пентадам, так как декады, а тем более месячные нормы метеозадающих дают слишком сложенную картину их распределения. Однако пентадные нормы не приводятся в официальной справочной литературе. Пути их более рационального получения лежат в использовании счетно-аналитических машин, с помощью которых рассчитываются не только нормы метеозадающих (температура, осадки, дефицит), но и их повторяемость по определенным градам.

Подобная работа выполнена, например, для юго-востока Западной Сибири В. А. Сенниковым [87]. Результатом ее являлась оценка условий уборки по пентадам методом Процера, показанная на рис. 66. Из этого рисунка видно, что в Барабе (Северное, Баранск) преобладают плохие и средние условия уборки (вероятность плохих условий с момента уборки увеличивается от 30 до 55%). Наиболее благоприятный период — 4-я пентада августа. В Кулунде (Славгород) погодный режим иного направления. В период массовой уборки вероятность плохих условий всего 3—8% (август). Число дней в пентаде с различными условиями уборки рассчитано на машинах.

Опыт обработки материалов по условиям уборки с использованием показателей Процера на счетно-аналитических машинах может быть заимствован у А. Г. Новикова [73]. В метеорологических перфокартах нет среднего за сутки дефицита влажности воздуха. Поэтому берется сумма дефицита влажности за четыре срока наблюдений: 12 мб — плохие условия, от 12 до 32 мб — удовлетворительные, более 32 мб — хорошие. Это равноценно 3 мб, от 3 до 8 мб, более 8 мб. Процесс обработки осуществляется в следующем порядке [73]:

1) рабочий массив перфокарт сортируется по декадам, внутри

декады по дням в хронологическом порядке, а внутри каждого дня — по срокам наблюдений;

2) сформированный таким образом рабочий массив метеорологических перфокарт обрабатывается на табуляторе, который автоматически подсчитывает сумму дефицита влажности за сутки, раз-

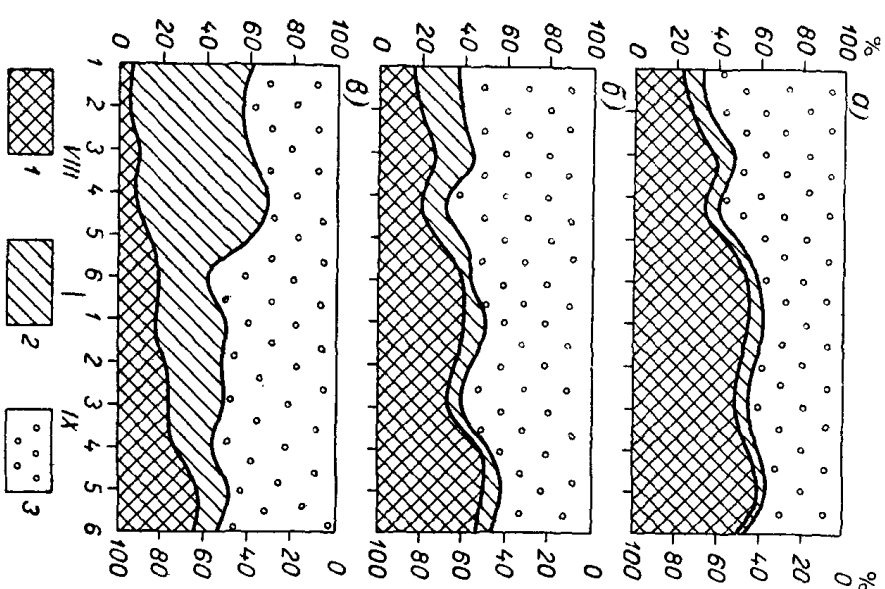


Рис. 66. Вероятность дней с различными условиями погоды для работы комбайнов в августе и сентябре (в процентах от пентады) в Северном (а), Бараньске (б) и Славгороде (в).

1 — плохие условия, 2 — хорошо, 3 — удовлетворительные.

дается проводить через несколько дней после уборки ранних сортов картофеля обычно начинают при зеленой ботве, не дожидаясь созревания клубней.

Во многих районах, особенно на полях с высоким фоном удобрения, увядание ботвы наступает поздно, когда условия уборки картофеля неблагоприятны из-за дождей и частых заморозков, в результате чего наблюдаются большие потери урожая. Поэтому для выбора оптимальных сроков уборки необходимо указать де-

носит эту сумму по данным грациям, суммирует данные по каждой грации за каждую декаду и по декадам за весь период наблюдений;

3) разделив на клавишных машинах полученные суммы по каждой декаде и по каждой грации на число лет наблюдений, получают среднее число дней по декадам за многолетний период; выразив последнее в процентах, получают вторые суммы числа благоприятных и неблагоприятных дней для уборки яровой пшеницы комбайном.

Весь процесс обработки в равной степени пригоден и для получения вероятности условий уборки по пентадам [87].

Агроклиматическое обоснование сроков уборки картофеля имеет также большое практическое значение. Показателем технической спелости картофеля является увядание ботвы, поэтому уборку среднепоздних и позд-

каду спада прироста клубней картофеля и показать вероятность начала периода с неблагоприятными условиями уборки. Первое будет показателем начала уборки, а второе — крайним сроком окончания уборки. Для определения декады снижения прироста урожая следует использовать среднюю многолетний динамику прироста картофеля по декадам.

Например, по ст. Торжок, Калининской области динамика прироста картофеля в условных единицах, рассчитанная за 6 лет, была следующей:

	1-я декада	2-я декада	3-я декада
Июль			
Август	7,2	1,0	4,2
Сентябрь	4,7	2,1	6,9
Октябрь	0,2		1,1

По этим приростам за начало уборки картофеля можно рекомендовать вторую декаду сентября. Для определения даты начала периода с неблагоприятными явлениями погоды нужно вычислить вероятность даты первого промерзания почвы, так как даже кратковременное промерзание почвы может вызвать гибель всего урожая картофеля. Вероятность первого промерзания почвы можно вычислить или по непосредственным наблюдениям над промерзанием почвы (визуальным) за длинный ряд лет или косвенно по наблюдениям за минимальной температурой воздуха. В основных районах картофелеводства на Европейской территории СССР при температуре воздуха -5° вероятность промерзания верхнего слоя почвы очень велика. Необходимо учесть также вероятность заморозков на почве интенсивностью $0, -1^{\circ}$, так как при таких заморозках могут померзнуть клубни картофеля выкопанного, но не убранного с поля.

Качество уборочных работ, а также качество убранного картофеля зависит от состояния увлажнения почвы, поэтому необходимо показать, какова вероятность того, что почва в период уборки будет находиться в мягкопластичном или липком состоянии, а также число дней с осадками различной интенсивности по декадам.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

(II планшет)

ДАТЫ НАСТУПЛЕНИЯ ФАЗЫ КОЛОШЕНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ И РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ МНОГОЛЕТНЕЙ ДАТЫ А
ПО КАЖДОЙ СТАНЦИИ И В ЦЕЛОМ ПО ПЛАНШЕТУ

Станция	Годы наблюдений																
	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952
Кашин													31 V	31 V		10 VI	10 VI
Савелово										14 VI	4 VI	6 VI	28 V	30 V	28 V	8 VI	8 VI
Дмитров										12 VI	8 VI	12 VI	31 V	2 VI	30 V	9 VI	10 VI
Углич											6 VI	11 VI	30 V	28 V	31 V	8 VI	6 VI
Рыбинск													31 V	2 VI	6 VI	10 VI	10 VI
Пошехонье-					12 VI	24 VI	8 VI	2 VI		18 VI	10 VI	11 VI	28 V	31 V	4 VI	10 VI	12 VI
Володарск																	
Тутаев													4 VI		4 VI	12 VI	8 VI
Данилов					20 VI	26 VI	6 VI			22 VI	10 VI	10 VI	31 V	6 VI	5 VI	12 VI	12 VI
Ярославль					20 VI		5 VI				6 VI	11 VI	31 V	31 V	31 V	10 VI	5 VI
Ростов											10 VI	16 VI	30 V	31 V	31 V	8 VI	8 VI
Переславль-					3 VI	20 VI	8 VI	28 V		14 VI	10 VI	12 VI	30 V	31 V	4 VI	6 VI	12 VI
Залесский																	
Юрьев-					8 VI	20 VI	4 VI	27 V		13 VI		10 VI	31 V	5 VI	5 VI	10 VI	15 VI
Польский																	
Александр-													4 VI	2 VI	31 V		14 VI
ров																	
Москва,															26 V	6 VI	1 VI
ВДНХ																	
Починки	2 VI	27 V	5 VI	13 VI	6 VI	17 VI	19 VI	10 VI	10 VI		6 VI	10 VI	29 V	28 V	31 V	8 VI	4 VI
Петушки													31 V	31 V	31 V	5 VI	10 VI
Павловский		30 V	6 VI								6 VI	8 VI			26 V	6 VI	6 VI
Посад																	
Селиваново					4 VI	16 VI	4 VI	2 VI		14 VI	6 VI	29 V	31 V	26 V	29 V	31 V	4 VI
Гороховец													31 V	28 V	24 V	30 V	8 VI

Станция	Годы наблюдений														Сумма фено- дат за все годы	Число лет наблюдений	Средняя многолетняя дата
	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966			
Кашин	5 VI	15 VI	17 VI	14 VI	28 V	6 VI	10 VI	10 VI	4 VI	4 VI	28 V	8 VI			107	16	6,7 VI
Савелово	10 VI	6 VI	14 VI	12 VI	8 VI	6 VI	4 VI	7 VI	2 VI	31 V	4 VI	6 VI		31 V	112	21	5,3 VI
Дмитров	4 VI		20 VI	10 VI			4 VI	4 VI	2 VI						96	14	6,9 VI
Углич	30 V	18 VI	10 VI	10 VI	2 VI	8 VI	6 VI	6 VI	10 VI	2 VI	26 V	10 VI		31 V	103	20	5,2 VI
Рыбинск	4 VI	12 VI	24 VI	10 VI		12 VI	10 VI	16 VI	10 VI	14 VI	14 VI	8 VI			162	16	10,1 VI
Пошехонье-	6 VI	10 VI	18 VI	10 VI		20 VI	10 VI	8 VI	10 VI	4 VI	28 V	6 VI			207	23	9,0 VI
Володарск																	
Тутаев	5 VI	7 VI	16 VI	10 VI		12 VI	10 VI	7 VI	6 VI	6 VI	31 V	5 VI		31 V	112	16	7,0 VI
Данилов	6 VI	8 VI	16 VI	10 VI		10 VI	12 VI	12 VI	10 VI	4 VI		12 VI		4 VI	233	22	10,6 VI
Ярославль	31 V	14 VI	16 VI	27 V					8 VI	31 V		2 VI			93	16	5,8 VI
Ростов	31 V	10 VI	16 VI	10 VI	26 V	8 VI	2 VI	8 VI	8 VI	31 V	28 V	6 VI		2 VI	103	20	5,2 VI
Переславль-	6 VI	14 VI	18 VI	16 VI	30 V	6 VI	2 VI	6 VI	8 VI	6 VI	31 V	8 VI			174	24	7,2 VI
Залесский																	
Юрьев-		10 VI	11 VI	15 VI											122	14	8,7 VI
Польский																	
Александр-	4 VI			14 VI							28 V				35	7	5,0 VI
ров																	
Москва,		31 V	7 VI	3 VI	20 V	31 V	24 V	31 V	31 V	28 V	26 V	4 VI	8 VI		2	15	30,9 V
ВДНХ																	
Починки	31 V	10 VI	14 VI	16 VI			31 V		2 VI	2 VI				31 V	145	24	6,0 VI
Петушки	5 VI	5 VI	15 VI	10 VI	25 V	6 VI	2 VI	14 VI	31 V	27 V	31 V	4 VI			66	17	3,9 VI
Павловский	4 VI	6 VI		8 VI	27 V	7 VI									47	12	3,9 VI
Посад																	
Селиваново	4 VI	6 VI	8 VI	6 VI	26 V		4 VI	8 VI				10 VI			92	20	4,1 VI
Гороховец	5 VI	5 VI	7 VI	10 VI	23 V	6 VI	27 V	2 VI	6 VI	31 V	31 V	10 VI		26 V	31	18	1,7 VI

Сумма средних многолетних дат по станциям 112,2

Число станций 19

Средняя многолетняя дата А по планшету 5,9 VI

ОЗИМОН РЖИ А_Ф ПО ПЛАНШЕТУ, ПРИВЕДЕННОЙ
РИОДУ ЛЕТ

1. ОБЪЕДИНЕННЫЙ									
1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	

Дат от средней многолетней

[illegible]

$A_{\phi} = 6,3 \text{ VI}$

Станция	Годы						
	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957

Отклонения фактически отмеченных

Кашин	+3,3	+3,3	-1,7	+8,3	+10,3	+7,3	-9,7
Савелово	+2,7	+2,7	+4,7	+0,7	+8,7	+6,7	+2,7
Дмитров	+2,1	+3,1	-2,9	+13,1	+4,8	+3,1	-3,2
Углич	+2,8	+0,8	-6,2	+12,8	+4,8	+4,8	
Рыбинск	-0,1	-0,1	-6,1	+1,9	+13,9	-0,1	
Похомье-	+1,0	+3,0	-3,0	+1,0	+9,0	+1,0	
Володарск							
Тутаев	+5,0	+1,0	-2,0	0,0	+9,0	+3,0	
Данилов	+1,4	+1,4	-4,6	-2,6	+5,4	-0,6	
Ярославль	+4,2	-0,8	-5,8	+8,2	+10,2	-9,8	
Ростов	+2,8	+2,8	-5,2	+4,2	+10,8	+4,8	-10,2
Переславль-	-1,2	+4,8	-1,2	+6,8	+10,8	+8,8	-8,2
Залесский							
Юрьев-	+1,3	+6,3		+1,3	+2,3	+6,3	
Польский							
Александров		+9,0	-1,0			+9,0	
Москва, ВДНХ	+6,1	+1,1	-6,0	+0,1	+7,1	+3,1	-10,9
Починки	+2,0	-2,0		+4,0	+8,0	+10,0	
Петушки	+1,1	+6,1	+1,1	+1,1	+11,1	+6,1	-9,9
Павловский	+2,1	+2,1	+0,1	+2,1		+4,1	-7,9
Посад							
Семинаново	-4,1	-0,1	-0,1	+1,9	+3,9	+1,9	-9,1
Гороховец	-2,7	+6,3	+3,3	+3,3	+5,3	+8,3	-9,7
Число случаев за каждый год	18	19	17	17	17	19	10
Сумма отклонений	29,8	50,8	-36,6	55,7	143,7	77,8	-76,1
Средние отклонения	+1,7	+2,7	-2,2	+3,3	+8,4	+4,1	-7,6
Средние даты, приведенные к одному периоду	7,6 VI	8,6 VI	3,7 VI	9,2 VI	14,3 VI	10,0 VI	29,3 V
	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}

Расчет A_Φ

38,6	39,6	34,7	40,2	45,3	41,0	29,3
------	------	------	------	------	------	------

$$A_\Phi = \frac{\sum a_i}{n} = \frac{1155,7}{31} = 37,3 \text{ V};$$

Дат от средней многолетней

-0,7	+3,3	+3,3	-2,7	-2,7	-9,7	+1,3	
+0,7	-1,3	-1,7	-3,3	-5,3	-1,3	+0,7	-5,3
+2,8	-2,9	-2,9	-4,9	-4,9	-10,2	+4,8	-5,2
+1,9	+0,8	+0,8	+4,8	+0,1	+3,9	-2,1	
+11,0	+1,0	-1,0	+1,0	-5,0	-12,0	-3,0	
+5,0	+3,0	0,0	-1,0	-1,0	-7,0	-2,0	-7,0
-0,6	+1,4	+1,4	-0,6	-6,6	+1,4	+1,4	-6,6
+2,8	-3,2	+2,8	+2,2	-5,8	-8,2	+0,8	-3,2
-1,2	-5,2	-1,2	+0,8	-1,2	-7,2	+0,8	
+0,1	-6,9	+0,1	+0,1	-2,9	-8,0	+4,1	+8,1
+2,1	-6,0	-10,1	+0,1	-4,0	-4,9	+0,1	-6,0
+3,1	-1,9	+10,1	-3,9	-7,9	-3,9		
+4,3	-0,1	+3,9	+4,3	-1,7	-1,7	+5,9	-6,7
13	-5,7	+0,3	15	14	12	14	1
31,3	-23,8	25,2	-4,5	-48,6	-70,2	17,3	8,1
+2,4	-1,6	+1,8	-0,3	-3,5	-5,8	+1,2	-40,0
8,3 VI	4,3 VI	7,7 VI	5,6 VI	2,4 VI	0,1 VI	7,1 VI	-5,7
a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	0,2 VI
						a_{30}	a_{31}

от 1 мая

39,3	35,3	38,7	36,6	33,4	31,1	38,1	45,0	31,2
------	------	------	------	------	------	------	------	------

$$\sum a_i = 1155,7$$

$$A_\Phi = 6,3 \text{ VI}$$

РАСЧЕТ ДЛЯ КАЖДОЙ СТАНЦИИ СРЕДНЕЙ МНОГОЛЕТНЕЙ ДАТЫ КОЛОШЕНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ В,
ПРИВЕДЕННОЙ К ОДНОМУ ПЕРИОДУ ЛЕТ, ПО ОТКЛОНЕНИЯМ ФАКТИЧЕСКИХ ДАТ ОТ СРЕДНИХ

Станция	Годы наблюдений																	
	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953
Кашин													+0,7	+0,3		+2,4	+1,4	+1,3
Савелово										+0,2	-3,1	-3,0	-2,3	-0,7	-3,3	+0,4	-0,6	+6,3
Дмитров										-1,8	+0,9	+3,0	+0,7	+2,3	-1,3	+1,4	+1,4	-0,3
Углич											-1,1	+2,0	-0,3	-2,7	-0,3	+0,4	-2,6	-4,7
Рыбинск													+0,7	+2,3	+5,7	+2,4	+1,4	-0,3
Пошехонье-					+3,0	+5,2	+1,7	+1,7		+4,2	+2,9	+2,0	-2,3	+0,3	+3,7	+2,4	+3,4	+2,3
Володарск																		
Тутаев													+4,7		+3,7	+4,4	-0,6	+1,3
Данилов					+11,0	+7,2	-0,3			+8,2	+2,9	+1,0	+0,7	+6,3	+4,7	+4,4	+3,4	+2,3
Ярославль					+11,0		-1,3				-1,1	+2,0	+0,7	+0,3	-0,3	+2,4	-3,6	-3,7
Ростов											+2,9	+7,0	-0,3	+0,3	-0,3	+0,4	-0,6	-3,7
Переславль-					-6,0	+1,2	+1,7	-3,3		+0,2	+2,9	+3,0	-0,3	+0,3	+3,7	-1,6	+3,4	+2,3
Залесский																		
Юрьев-					-1,0	+1,2	-2,3	-4,3		-0,8		+1,0	+0,7	+5,3	+4,7	+2,4	+6,4	
Польский																		
Александр-													+4,7	+2,3	-0,3		+5,4	+0,3
ров																		
Москва,															-5,3	-1,6	-7,6	
ВДНХ																		
Починки	+0,1	-2,5	-1,5	+0,1	-3,0	-1,8	+12,7	+9,7	+0,1		-1,1	+1,0	-1,3	-2,7	-0,3	+0,4	-4,6	-3,7
Петушки		+0,5	-0,5										+0,7	+0,3	-0,3	-2,6	+1,4	+1,3
Павловский											-1,1	-1,0			-5,3	-1,6	-2,6	+0,3
Посад																		
Селиваново					-5,0	-2,8	-2,3	+1,7		+0,2	-1,1	-11,0	+0,7	-4,7	-1,3	-7,6	-4,6	+0,3
Гороховец													+0,7	-2,7	-6,3	-7,6	-0,6	+1,3

Станция	Годы наблюдений													Сумма отклонений $\sum (b_i - a_i)$	Число случаев n	Среднее отклонение $\frac{\sum (b_i - a_i)}{n}$	$B = A_{\Phi} + \frac{\sum (b_i - a_i)}{n}$
	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966				
Кашин	+5,8	+2,7	+4,0	-1,3	-2,3	+5,7	+2,3	-1,6	+1,6	-3,1	+0,9			+20,8	16	+1,3	7,6 VI
Савелово	+3,2	-0,3	+2,0	+9,7	-2,3	-0,3	-0,7	-3,6	+1,6	-2,4	+3,9	-1,1		+1,8	21	+0,1	6,4 VI
Дмитров		+5,7	0,0			-0,3	-3,7	-3,6						+4,4	14	+0,3	6,6 VI
Углич	+8,8	-4,3	0,0	+3,7	-0,3	+1,7	-1,7	+4,4	-0,4	-5,1	+2,9			+0,2	20	0,0	6,3 VI
Рыбинск	+2,8	+9,7	0,0		+3,7	+5,7	+8,3	+4,4	+11,6	+13,9	+0,9			+73,2	16	+4,6	10,9 VI
Пошехонье-	+0,8	+3,7	0,0		+11,7	+5,7	+0,3	+4,4	+1,6	-3,1	-1,1			+54,5	23	+2,4	8,7 VI
Володарск																	
Тутаев	-2,2	+1,7	0,0		+3,7	+5,7	-0,7	+0,4	+3,6	-0,1	-2,1			+23,3	16	+1,5	7,8 VI
Данилов	-1,2	+1,7	0,0		+1,7	+7,7	+4,3	+4,4	+1,6		+4,9			+80,7	22	-3,7	10,0 VI
Ярославль	+4,8	+1,7	-14,0					+2,4	-2,4		-5,1			-6,2	16	-0,4	5,9 VI
Ростов	+0,8	+1,7	0,0	-3,3	-0,3	-2,3	+0,3	+2,4	-2,4	-3,1	-1,1			+0,2	20	0,0	6,3 VI
Переславль-	+4,8	+3,7	+6,0	+0,7	-2,3	-2,3	-1,7	+2,4	+3,6	-0,1	+0,9			+23,2	24	+1,0	7,3 VI
Залесский																	
Юрьев-	+0,8	-3,3	+5,0											+15,8	14	+1,1	7,4 VI
Польский			+4,0											+13,3	7	+1,9	8,2 VI
Александр-										-3,1							
ров																	
Москва,	-9,2	-7,3	-7,0	-9,3	-8,3	-11,3	-7,7	-5,6	-5,4	-5,1	-3,1	+6,0		-87,8	15	-5,8	0,5 VI
ВДНХ																	
Починки	+0,8	-0,3	+6,0			-4,3		-3,6	-0,4					-0,4	24	0,0	6,3 VI
Петушки	-4,2	+0,7	0,0	-4,3	-2,3	-2,3	+6,3	-5,6	+6,4	-0,1	-3,1			-7,7	17	-0,4	5,9 VI
Павловский	-3,2		-2,0	-2,3	-1,3									-20,1	12	-1,7	4,6 VI
Посад																	
Селиваново	-3,2	+6,3	-4,0	-3,3		-0,3	+0,3				+2,9			-28,8	20	-1,4	4,9 VI
Гороховец	-4,2	+7,3	0,0	-6,3	-2,3	-8,3	-5,7	+0,4	-2,4	-0,1	+2,9			-39,1	18	-2,1	4,2 VI

РАСЧЕТ СРЕДНЕГО КВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ σ
И СРЕДНЕЙ ОШИБКИ m

Годы	Отклонения $(b_i - a_i)$	$\Delta \left[(b_i - a_i) - \frac{\sum (b_i - a_i)}{n} \right]$	Δ^2	Годы	Отклонения $(b_i - a_i)$	$\Delta \left[(b_i - a_i) - \frac{\sum (b_i - a_i)}{n} \right]$	Δ^2	Годы	Отклонения $(b_i - a_i)$	$\Delta \left[(b_i - a_i) - \frac{\sum (b_i - a_i)}{n} \right]$	Δ^2
1948	0,7	-0,6	0,36	1945	0,2	+0,1	0,01	1945	-1,8	-2,1	4,41
1949	0,3	-1,0	1,00	1946	-3,1	-3,2	10,24	1946	0,9	+0,6	0,36
1951	2,4	+1,1	1,21	1947	-3,0	-3,1	9,61	1947	3,0	+2,7	7,29
1952	1,4	+0,1	0,01	1948	-2,3	-2,4	5,76	1948	0,7	+0,4	0,16
1953	1,3	+0,0	0,00	1949	-0,7	-0,8	0,64	1949	2,3	+2,0	4,00
1954	5,8	+4,5	20,25	1950	-3,3	-3,4	11,56	1950	-1,3	-1,6	2,56
1955	2,7	+1,4	1,95	1951	0,4	+0,3	0,09	1951	1,4	+1,1	1,21
1956	4,0	+2,7	7,29	1952	-0,6	-0,7	0,49	1952	1,4	+1,1	1,21
1957	-1,3	-2,6	6,76	1953	6,3	+6,2	38,44	1953	-0,3	-0,6	0,36
1958	-2,3	+3,6	12,96	1954	3,2	+3,1	9,61	1955	5,7	+5,4	29,16
1959	5,7	+4,4	19,36	1955	-0,3	-0,4	0,16	1956	0,0	-0,3	0,09
1960	2,3	+1,0	1,00	1956	2,0	+1,9	3,61	1959	0,3	0,6	0,36
1961	-1,6	-2,9	8,41	1957	9,7	+9,6	92,16	1960	-3,7	-4,0	16,00
1962	1,6	+0,3	0,09	1958	-2,3	-2,4	5,76	1961	-3,6	-3,9	15,21
1963	-3,1	-4,4	19,36	1959	-0,3	-0,4	0,16				
1964	0,9	-0,4	0,16	1960	-0,7	-0,8	0,64				
				1961	-3,6	-3,7	13,69				
				1962	-2,4	-2,4	5,76				
				1963	3,9	-3,8	14,44				
				1964	-1,1	-1,2	1,44				
				1966	-0,2	-0,3	0,09				
Число лет n , 16				21				14			
$\frac{\sum (b_i - a_i)}{n}$	+1,3				+0,1				+0,3		
$\sum \Delta^2$			100,18				224,36				82,38
$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}}$	$\sigma = \pm \sqrt{\frac{100,18}{15}} = \pm 2,6$			$\sigma = \pm \sqrt{\frac{224,36}{20}} = \pm 3,4$				$\sigma = \pm \sqrt{\frac{82,38}{13}} = \pm 2,5$			
$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$m = \pm \frac{2,6}{\sqrt{16}} = \pm 0,6$			$m = \pm \frac{3,4}{\sqrt{21}} = \pm 0,7$				$m = \pm \frac{2,5}{\sqrt{14}} = \pm 0,7$			

Станция	B	σ	m
Кашин	7,6 VI	$\pm 2,6$	$\pm 0,7$
Савелово	6,4 VI	$\pm 3,3$	$\pm 0,7$
Дмитров	6,6 VI	$\pm 2,5$	$\pm 0,7$
Углич	6,3 VI	$\pm 3,3$	$\pm 0,8$
Рыбинск	10,9 VI	$\pm 4,3$	$\pm 1,1$
Пошехонье-Володарск	8,7 VI	$\pm 3,0$	$\pm 0,6$
Тутаев	7,8 VI	$\pm 2,5$	$\pm 0,6$
Данилов	10,0 VI	$\pm 3,1$	$\pm 0,6$
Ярославль	5,9 VI	$\pm 5,3$	$\pm 1,3$
Ростов	6,3 VI	$\pm 2,5$	$\pm 0,6$
Переславль-Залесский	7,3 VI	$\pm 2,8$	$\pm 0,6$
Юрьев-Польский	7,4 VI	$\pm 3,3$	$\pm 0,9$
Александров	8,2 VI	$\pm 3,1$	$\pm 1,2$
Москва, ВДНХ	0,5 VI	$\pm 4,1$	$\pm 1,1$
Починки	6,3 VI	$\pm 4,1$	$\pm 0,8$
Петушки	5,9 VI	$\pm 3,3$	$\pm 0,8$
Павловский Посад	4,6 VI	$\pm 1,6$	$\pm 0,5$
Селиваново	4,9 VI	$\pm 4,0$	$\pm 0,9$
Гороховец	4,2 VI	$\pm 4,1$	$\pm 1,0$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(II планшет)

ВЫЧИСЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ШИРОТЫ φ_0 , СРЕДНЕЙ ДОЛГОТЫ λ_0 ,
СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ H_0 И СРЕДНЕЙ ДАТЫ ПО ПЛАНШЕТУ B_0

Станция	Широта φ	Долгота λ	Высота H	Средняя многоточная дата B
Кашин			136,9	7,6 VI
Савелово			122,2	6,4 VI
Дмитров			183,4	6,6 VI
Углич			119,9	6,3 VI
Рыбинск			104,0	10,9 VI
Пошехонье-Володарск			109,3	8,7 VI
Тутаев			123,0	7,8 VI
Данилов			155,0	10,0 VI
Ярославль			96,0	5,9 VI
Ростов			100,7	6,3 VI
Переславль-Залесский			174,3	7,3 VI
Юрьев-Польский			151,5	7,4 VI
Александров			184,6	8,2 VI
Починки			137,0	6,3 VI
Петушки			146,7	5,9 VI
Павловский Посад			134,1	4,6 VI
Селиваново			124,8	4,9 VI
Гороховец			78,8	4,2 VI
Сумма	1024°55'	706°03'	2382,2	125,3
Число станций	18	18	18	18
Средняя	$\varphi_0 = 56^\circ 56'$	$\lambda_0 = 39^\circ 13'$	$H_0 = 132,3$	$B_0 = 7,0 VI$

СОСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Станция	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>f</i>	Произведение разностей широт, долгот, высот и фенолат								
	($\varphi - \varphi_0$)	($\lambda - \lambda_0$)	($H - H_0$)	($B - B_0$)	<i>aa</i>	<i>ab</i>	<i>ac</i>	<i>af</i>	<i>bb</i>	<i>bc</i>	<i>bf</i>	<i>cc</i>	<i>cf</i>
Кашин	+25	-98	+4,6	+0,6	625	-2450	+115,0	+15,0	9604	-450,8	-58,8	21,2	+2,8
Савелово	-4	-110	-10,1	-0,6	16	+440	+40,4	+2,4	12100	+1111,0	+66,0	102,0	+6,1
Дмитров	-35	-99	+51,1	-0,4	1225	+3465	-1788,5	+14,0	9801	-5058,9	+39,6	2611,2	-20,4
Углич	+34	-55	-12,4	-0,7	1156	-1870	-421,6	-23,8	3025	+682,0	+38,5	153,8	+8,7
Рыбинск	+70	-32	-28,3	+3,9	4900	-2240	-1981,0	+273,0	1024	+905,6	-124,8	8008,9	-110,4
Пошехонье-Володарск	+93	-5	-23,0	+1,7	8649	-465	-2139,0	+158,1	25	+115,0	-8,5	529,0	-39,1
Тутаев	+58	+19	-9,3	+0,8	3364	+1102	-539,4	+46,4	361	-176,7	+15,2	86,5	-7,4
Данилов	+76	+58	+22,7	+3,0	5776	+4408	+1725,2	+228,0	3364	+1316,6	+174,0	515,3	+68,1
Ярославль	+42	+41	-36,3	-1,1	1764	+1722	-1524,6	-46,2	1681	-1488,3	-45,1	1371,7	+39,9
Ростов	+16	+12	-31,6	-0,7	256	+192	-505,6	-11,2	144	-379,2	-8,4	998,6	+22,1
Переславль-Залесский	-13	-23	+42,0	+0,3	169	+299	-546,0	-3,9	529	-966,0	-6,9	1764,0	+12,6
Юрьев-Польский	-27	+28	+19,2	+0,4	729	-756	-518,4	-10,8	784	+537,6	+11,2	368,6	+7,7
Александров	-32	-28	+52,3	+1,2	1024	+896	-1673,6	-38,4	784	-1464,4	-33,6	2735,3	+62,8
Починки	-61	-46	+4,7	-0,3	3721	+2806	-286,7	+42,7	2116	-216,2	+32,2	22,1	-3,3
Петушки	-60	+15	+14,4	-1,1	3600	-900	-864,0	+66,0	225	+216,0	-16,5	207,4	-15,8
Павловский Посад	-70	-32	+1,8	-2,4	4900	+2240	-126,0	+168,0	1024	-57,6	+76,8	3,2	-4,3
Селиваново	-59	+147	-7,5	-2,1	3481	-8673	+442,5	+123,9	21609	-1102,5	-308,7	56,2	+15,8
Гороховец	-46	+217	-53,5	-2,8	2116	-9982	+2461,0	+128,8	47089	-11609,5	-607,6	2862,2	+149,8
Сумма					+47471	-9766	-8130,3	+1132,0	+115289	-18086,3	-765,4	+22417,2	+195,4

Система нормальных уравнений

Общий вид

$$[aa] K_1 + [ab] K_2 + [ac] K_3 = [af]$$

$$[ab] K_1 + [bb] K_2 + [bc] K_3 = [bf]$$

$$[ac] K_1 + [bc] K_2 + [cc] K_3 = [cf]$$

II планшет

$$+47471,0 K_1 - 9766,0 K_2 - 8130,3 K_3 = +1132,0$$

$$-9766,0 K_1 + 115289,0 K_2 - 18086,3 K_3 = -765,4$$

$$-8130,3 K_1 - 18086,3 K_2 + 22417,2 K_3 = +195,4$$

РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Разделив в каждом уравнении все члены на коэффициент при K_1 , получаем упрощенные уравнения. Например, в уравнении $+47471 K_1 - 9766 K_2 - 8130,3 K_3 = +1132,0$ делим: $\frac{47471}{47471} = 1$, $\frac{-9766}{47471} = -0,2057$, $\frac{-8130,3}{47471} = -0,1713$, $\frac{11320}{47471} = 0,0238$, $\begin{cases} +1 K_1 - 0,2057 K_2 - 0,1713 K_3 = 0,0238 \\ +1 K_1 - 11,8051 K_2 + 1,8520 K_3 = 0,0784 \\ +1 K_1 + 2,2246 K_2 - 2,7572 K_3 = -0,0240 \end{cases}$

Решаем систему уравнений методом определителей, для этого находим определители D , D_1 , D_2 , D_3 .

$$D = \begin{vmatrix} 1 & -0,2057 & -0,1713 \\ 1 & -11,8051 & +1,8520 \\ 1 & +2,2246 & -2,7572 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & +11,5994 & -2,0233 \\ 0 & -14,0297 & +4,6092 \\ 1 & +2,2246 & -2,7572 \end{vmatrix} = +1 \cdot (+11,5994 \cdot 4,6092 - 2,0233 \cdot 14,0297) = 53,4640 - 28,3863 = +25,0777,$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} 0,0238 & -0,2057 & -0,1713 \\ 0,0784 & -11,8051 & +1,8520 \\ -0,0240 & +2,2246 & -2,7572 \end{vmatrix} = 0,0238 \cdot (11,8051 \cdot 2,7572 - 2,2246 \cdot 1,8520) - 0,0784 (+0,2057 \cdot 2,7572 + 0,1713 \cdot 2,2246), \\ = -0,0240 \cdot (-0,2057 \cdot 1,8520 - 0,1713 \cdot 11,8051) = 0,0238 (32,5490 - 4,1200) - 0,0784 (0,5672 + 0,3811) - 0,0240 (-0,3800 - 2,0222) = \\ = 0,6766 - 0,0743 + 0,0577 = 0,6600,$$

$$K_1 = \frac{D_1}{D}, \quad K_1 = \frac{0,6600}{25,0777} = 0,0263;$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} 1 & +0,0238 & -0,1713 \\ 1 & +0,0784 & +1,8520 \\ 1 & +0,0240 & -2,7572 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -0,0546 & -2,0233 \\ 0 & +0,1024 & +4,6092 \\ 1 & -0,0240 & -2,7572 \end{vmatrix} = 1 \cdot (-0,0546 \cdot 4,6092 + 2,0233 \cdot 0,1024) = -0,2517 + 0,2072 = -0,0445,$$

$$K_2 = \frac{D_2}{D} \quad K_2 = \frac{-0,0445}{25,0777} = -0,0018;$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} 1 & -0,2057 & +0,0238 \\ 1 & -11,8051 & +0,0784 \\ 1 & +2,2246 & -0,0240 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & +11,5994 & -0,0546 \\ 0 & -14,0297 & +0,1024 \\ 1 & +2,2246 & -0,0240 \end{vmatrix} = 1 \cdot (11,5994 \cdot 0,1024 - 14,0297 \cdot 0,0546) = 1,1878 - 0,7660 = 0,4218,$$

$$K_3 = \frac{D_3}{D} \quad K_3 = \frac{0,4218}{25,0777} = 0,0168.$$

Проверка правильности расчета коэффициентов

В систему уравнений r подставляем полученные коэффициенты и произвольным вычисления. Если значения свободных членов одинаковые, коэффициенты рассчитаны правильно:

$$0,0263 - 0,2057 \cdot (-0,0018) - 0,1713 \cdot 0,0168 = 0,0263 + 0,0004 - 0,0029 = 0,0238, \\ 0,0263 - 11,8051 \cdot (-0,0018) + 1,8520 \cdot 0,0168 = 0,0263 + 0,0212 + 0,0313 = 0,0788, \\ 0,0263 - 2,2246 \cdot (-0,0018) - 2,7572 \cdot 0,0168 = 0,0263 - 0,0040 - 0,0466 = -0,0240.$$

Составляем уравнение регрессии:

$$y = 7,0/\sqrt{V} + 0,0263 (\varphi - 116') - 0,0018 (A - 553') + 0,0168 (H - 132)$$

ПРОВЕРКА ПОЛУЧЕННОГО УРАВНЕНИЯ

$$y = 7,0/\text{VI} + 0,026(\varphi - 116') - 0,002(\lambda - 553') + 0,017(H - 132)$$

Станция	$B_0 + K_1 (\varphi - \varphi_0) + K_2 (\lambda - \lambda_0) + K_3 (H - H_0) = y$	B	$(B - y) = \Delta'$	$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$t = \frac{ \Delta' }{m}$
Кашин	$7,0 + 0,026 \cdot 25 + 0,002 \cdot 98 + 0,017 \cdot 4,6 = 7,9$	7,6	-0,3	$\pm 0,6$	0,50
Савелово	$7,0 - 0,026 \cdot 4 + 0,002 \cdot 110 - 0,017 \cdot 10,1 = 6,9$	6,4	-0,5	$\pm 0,7$	0,71
Дмитров	$7,0 - 0,026 \cdot 35 + 0,002 \cdot 99 + 0,017 \cdot 51,1 = 7,1$	6,6	-0,5	$\pm 0,7$	0,71
Углич	$7,0 + 0,026 \cdot 34 + 0,002 \cdot 55 - 0,017 \cdot 12,4 = 7,8$	6,3	-1,5	$\pm 0,8$	1,88
Рыбинск	$7,0 + 0,026 \cdot 70 + 0,002 \cdot 32 - 0,017 \cdot 28,3 = 8,4$	10,9	+2,5	$\pm 1,1$	2,27
Пошехонье-Володарск	$7,0 + 0,026 \cdot 93 + 0,002 \cdot 5 - 0,017 \cdot 23,0 = 9,0$	8,7	-0,3	$\pm 0,6$	0,50
Тутаев	$7,0 + 0,026 \cdot 58 + 0,002 \cdot 19 - 0,017 \cdot 9,3 = 8,3$	7,8	-0,5	$\pm 0,6$	0,83
Данилов	$7,0 + 0,026 \cdot 76 - 0,002 \cdot 58 + 0,017 \cdot 22,7 = 9,3$	10,0	+0,7	$\pm 0,6$	1,17
Ярославль	$7,0 + 0,026 \cdot 42 - 0,002 \cdot 41 - 0,017 \cdot 36,3 = 7,4$	5,9	-1,5	$\pm 1,3$	1,15
Ростов	$7,0 + 0,026 \cdot 16 - 0,002 \cdot 12 - 0,017 \cdot 31,6 = 6,9$	6,3	-0,6	$\pm 0,6$	1,00
Переславль-Залесский	$7,0 - 0,026 \cdot 13 + 0,002 \cdot 23 + 0,017 \cdot 4,2 = 6,8$	7,3	+0,5	$\pm 0,6$	0,83
Юрьев-Польский	$7,0 - 0,026 \cdot 27 - 0,002 \cdot 28 + 0,017 \cdot 19,2 = 6,6$	7,4	+0,8	$\pm 0,9$	0,89
Александров	$7,0 - 0,026 \cdot 32 + 0,002 \cdot 28 + 0,017 \cdot 52,3 = 7,1$	8,2	+1,1	$\pm 1,2$	0,92
Починки	$7,0 - 0,026 \cdot 61 + 0,002 \cdot 46 + 0,017 \cdot 4,7 = 5,6$	6,3	+0,7	$\pm 0,8$	0,88
Петушки	$7,0 - 0,026 \cdot 60 - 0,002 \cdot 15 + 0,017 \cdot 14,4 = 5,6$	5,9	+0,3	$\pm 0,8$	0,38
Павловский Посад	$7,0 - 0,026 \cdot 70 + 0,002 \cdot 32 + 0,017 \cdot 1,8 = 5,2$	4,6	-0,6	$\pm 0,5$	1,20
Селиваново	$7,0 - 0,026 \cdot 59 - 0,002 \cdot 147 - 0,017 \cdot 7,5 = 5,1$	4,9	-0,2	$\pm 0,9$	0,22
Гороховец	$7,0 - 0,026 \cdot 46 - 0,002 \cdot 217 - 0,017 \cdot 53,5 = 4,5$	4,2	-0,3	$\pm 1,0$	0,30

РАСЧЕТ ФЕНОДАТ y ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПО УРАВНЕНИЮ

$$\text{РЕГРЕССИИ } y = 7,0/\text{VI} + 0,026(\varphi - 116') - 0,002(\lambda - 553') + 0,017(H - 132)$$

Географические координаты по предельным площадям		H м	$B_0 + K_1 (\varphi - \varphi_0) + K_2 (\lambda - \lambda_0) + K_3 (H - H_0) = y$
φ	λ		
58°20'	37°30'	160	$7,0 + 0,026 (200' - 116') - 0,002 (450' - 553') + 0,017 \cdot 28 = 10 \text{ VI}$
58 20	39 30	150	$7,0 + 0,026 (200' - 116') - 0,002 (570' - 553') + 0,017 \cdot 18 = 10 \text{ VI}$
58 20	40 30	140	$7,0 + 0,026 (200' - 116') - 0,002 (630' - 553') + 0,017 \cdot 8 = 9 \text{ VI}$
57 40	37 30	150	$7,0 + 0,026 (160' - 116') - 0,002 (450' - 553') + 0,017 \cdot 18 = 9 \text{ VI}$
57 40	38 30	130	$7,0 + 0,026 (160' - 116') - 0,002 (510' - 553') + 0,017 \cdot (-2) = 8 \text{ VI}$
57 40	39 30	145	$7,0 + 0,026 (160' - 116') - 0,002 (570' - 553') + 0,017 \cdot 13 = 8 \text{ VI}$
57 40	40 30	103	$7,0 + 0,026 (160' - 116') - 0,002 (630' - 553') + 0,017 \cdot (-29) = 8 \text{ VI}$
57 00	37 30	125	$7,0 + 0,026 (120' - 116') - 0,002 (450' - 553') + 0,017 \cdot (-7) = 7 \text{ VI}$
57 00	38 30	157	$7,0 + 0,026 (120' - 116') - 0,002 (510' - 553') + 0,017 \cdot 25 = 8 \text{ VI}$
57 00	39 30	148	$7,0 + 0,026 (120' - 116') - 0,002 (570' - 553') + 0,017 \cdot 16 = 7 \text{ VI}$
57 00	40 00	128	$7,0 + 0,026 (120' - 116') - 0,002 (630' - 553') + 0,017 \cdot (-7) = 7 \text{ VI}$
56 20	37 30	180	$7,0 + 0,026 (80' - 116') - 0,002 (450' - 553') + 0,017 \cdot 48 = 7 \text{ VI}$
56 20	38 30	170	$7,0 + 0,026 (80' - 116') - 0,002 (510' - 553') + 0,017 \cdot 38 = 7 \text{ VI}$
56 20	39 30	163	$7,0 + 0,026 (80' - 116') - 0,002 (570' - 553') + 0,017 \cdot 31 = 7 \text{ VI}$
56 20	40 30	141	$7,0 + 0,026 (80' - 116') - 0,002 (630' - 553') + 0,017 \cdot 9 = 6 \text{ VI}$
56 20	41 30	133	$7,0 + 0,026 (80' - 116') - 0,002 (690' - 553') + 0,017 \cdot 1 = 6 \text{ VI}$
56 20	42 30	116	$7,0 + 0,026 (80' - 116') - 0,002 (750' - 553') + 0,017 \cdot (-16) = 5 \text{ VI}$

ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ
И УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ПО СРЕДНИМ МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ
КОЛОШЕНИИ И ЦВЕТЕНИИ ОЗИМОЙ РЖИ

Станция	Дата коло- шения x	Дата цве- тения y	Отклонение от средних		Δx^2	Δy^2	$\Delta x \Delta y$	$(\Delta x + \Delta y)$	$(\Delta x + \Delta y)^2$
			Δx	Δy					
Бежелк	8 VI	24 VI	+3,7	+5,4	13,7	29,2	20,1	+9,1	82,8
Ржев	7 VI	22 VI	+2,7	+3,4	7,3	11,6	9,2	+6,1	37,2
Кашин	7 VI	20 VI	+2,7	+1,4	7,3	2,0	3,8	+4,1	16,8
Кушиново	6 VI	22 VI	+1,7	+3,4	2,9	11,6	5,8	+5,1	26,0
Красный	10 VI	25 VI	+5,7	+6,4	32,5	41,0	36,5	+12,1	146,4
Холм	11 VI	26 VI	+6,7	+7,4	44,9	54,8	49,6	+14,1	198,8
Бологое	8 VI	23 VI	+3,7	+4,4	13,7	19,4	16,3	+8,1	65,6
Белый	5 VI	21 VI	+0,7	+2,4	0,5	5,8	1,7	+3,1	9,6
Заледная	4 VI	17 VI	-0,3	-1,6	0,1	2,6	0,5	-1,9	3,6
Двина	7 VI	22 VI	+2,7	+3,4	7,3	11,6	9,2	+6,1	37,2
Вышний	6 VI	21 VI	+1,7	+2,4	2,9	5,8	4,1	+4,1	16,8
Вологоч	4 VI	20 VI	-0,3	+1,4	0,1	2,0	-0,4	+1,1	1,2
Торопец	8 VI	23 VI	+3,7	+4,4	13,7	19,4	16,3	+8,1	65,6
Осташков	6 VI	20 VI	+1,7	+1,4	2,9	2,0	2,4	+3,1	9,6
Савелово	4 VI	19 VI	-0,3	+0,4	0,1	0,2	-0,1	+0,1	0,0
Торжок	4 VI	17 VI	-0,3	-1,6	0,1	2,6	0,5	-1,9	3,6
Тургиново	9 VI	24 VI	+4,7	+5,4	22,1	29,2	25,4	+10,1	102,0
Максатиха	1 VI	15 VI	-3,3	-3,6	10,9	12,9	11,9	-6,9	47,6
Рязань	31 VI	14 VI	-4,3	-4,6	18,5	21,2	19,8	-8,9	79,2
Штак	3 VI	17 VI	-1,3	-1,6	1,7	2,6	2,1	-2,9	8,4
Старожи- лово	2 VI	17 VI	-2,3	-1,6	5,3	2,6	3,7	-3,9	15,2
Сасово	28 V	10 VI	-7,3	-8,6	53,3	74,0	62,8	-15,9	252,8
Шилово	6 VI	19 VI	+1,7	+0,4	2,9	0,2	0,7	+2,1	4,4
Тума	2 VI	16 VI	-2,3	-2,6	5,3	6,8	6,0	-4,9	24,0
Еглыма	29 V	11 VI	-6,3	-7,6	39,7	57,8	47,9	-13,9	193,2
Ражск	2 VI	15 VI	-2,3	-3,6	5,3	13,0	8,3	-5,9	34,8
Павлец	2 VI	15 VI	-2,3	-3,6	5,3	13,0	8,3	-5,9	34,8
Михайлов	3 VI	17 VI	-1,3	-1,6	1,7	2,6	2,1	-2,9	8,4
Кашира	6 VI	22 VI	+1,7	+3,4	2,9	11,6	6,8	+5,1	26,0
Ново-Меру- садим	6 VI	20 VI	+1,7	+1,4	2,9	2,0	2,4	+3,1	9,6
Клин	5 VI	22 VI	+0,7	+3,4	0,5	11,6	2,4	+4,1	16,8
Можайск	7 VI	19 VI	+2,7	+0,4	7,3	2,0	1,1	+3,1	9,6
Починки	4 VI	17 VI	-0,3	-1,6	0,1	2,6	0,5	-1,9	3,6
Собакно	6 VI	19 VI	+1,7	+0,4	2,9	0,2	0,7	+2,1	4,4
Узловая	5 VI	19 VI	+0,7	+0,4	0,5	0,2	+0,3	+1,1	1,2
Куровское	2 VI	19 VI	-2,3	+0,4	5,3	0,2	-0,9	-1,9	3,6
Серпухов	4 VI	17 VI	-0,3	-1,6	0,1	2,6	+0,5	-1,9	3,6
Павловский	31 V	14 VI	-4,3	-4,6	18,5	21,2	+19,8	-8,9	79,2
Ленино-	30 V	15 VI	-5,3	-3,6	28,1	13,0	+19,1	-8,9	79,2
Дачное									
Москва,									
ВДНХ									

Станция	Дата коло- шения x	Дата цве- тения y	Отклонение от средних		Δx^2	Δy^2	$\Delta x \Delta y$	$(\Delta x + \Delta y)$	$(\Delta x + \Delta y)^2$
			Δx	Δy					
Коломна	6 VI	20 VI	+1,7	+1,4	2,9	2,0	+2,4	+3,1	9,6
Суворов	4 VI	16 VI	-0,3	-2,6	0,1	6,8	+0,8	-2,9	8,4
Дмитров	7 VI	20 VI	+2,7	+1,4	7,3	2,0	+3,8	+4,1	16,8
Волоко- ламок	6 VI	20 VI	+1,7	+1,4	2,9	2,0	+2,4	+3,1	9,6
Чернь	3 VI	18 VI	-1,3	-0,6	1,7	0,4	+0,8	-1,9	3,6
Волово	3 VI	17 VI	-1,3	-1,6	1,7	2,6	+2,1	-2,9	8,4
Ефремов	5 VI	15 VI	+0,7	-3,6	0,5	13,0	-2,5	-2,9	8,4
Алексин	1 VI	16 VI	-3,3	-2,6	10,9	6,8	+8,6	-5,9	34,8
Тула	31 V	15 VI	-4,3	-3,6	18,5	13,0	+15,5	-7,9	62,4
Белев	31 V	13 VI	-4,3	-5,6	18,5	31,4	+24,1	-9,9	98,0
Данилов	11 VI	24 VI	+6,7	+5,4	44,9	29,2	+36,2	+12,1	146,4
Потехонье-	9 VI	24 VI	+4,7	+5,4	22,1	29,2	+25,4	+10,1	102,0
Володарск	10 VI	24 VI	+5,7	+5,4	32,5	29,2	+30,8	+11,1	123,2
Рыбинск	5 VI	22 VI	+0,7	+3,4	0,5	11,6	+2,4	+4,1	16,8
Тутаев	6 VI	20 VI	+1,7	+1,4	2,9	2,0	+2,4	+3,1	9,6
Ростов	8 VI	21 VI	+3,7	+2,4	13,7	5,8	+8,9	+6,1	37,2
Ярославль	6 VI	20 VI	+1,7	+1,4	2,9	2,0	+2,4	+3,1	9,6
Углич	7 VI	22 VI	+2,7	+3,4	7,3	11,6	+9,2	+6,1	37,2
Переяславль-	4 VI	18 VI	-0,3	-0,6	0,1	0,4	+0,2	-0,9	0,8
Занесский	3 VI	16 VI	-1,3	-2,6	1,7	6,8	+3,4	-3,9	15,2
Селиваново	5 VI	18 VI	+0,7	-0,6	0,5	0,4	-0,4	+0,1	0,0
Владимир	4 VI	16 VI	-0,3	-2,6	0,1	6,8	+0,2	-0,9	0,8
Александр-	5 VI	18 VI	+0,7	-0,6	0,5	0,4	-0,4	+0,1	0,0
ров	4 VI	19 VI	-0,3	+0,4	0,1	0,2	-0,1	+0,1	0,0
Петушки	31 VI	16 VI	-4,3	-2,6	18,5	6,8	+11,2	-6,9	47,6
Муром	9 VI	25 VI	+4,7	+6,4	22,1	41,0	+30,1	+11,1	123,2
Юрьев-	2 VI	16 VI	-2,3	-2,6	5,3	6,8	+6,0	-4,9	24,0
Польский	2 VI	16 VI	-2,3	-2,6	5,3	6,8	+6,0	-4,9	24,0
Гороховец	2 VI	16 VI	-2,3	-2,6	5,3	6,8	+6,0	-4,9	24,0
Ковров	5 VI	17 VI	+0,7	-1,6	0,5	2,6	-1,1	-0,9	0,8
Велиж	4 VI	17 VI	+0,7	-1,6	0,5	2,6	+0,5	-1,9	3,6
Починок	3 VI	18 VI	-1,3	-0,6	1,7	0,4	+0,8	-1,9	3,6
Сафоново	4 VI	18 VI	-0,3	-0,6	0,1	0,4	+0,2	-0,9	0,8
Ельня	8 VI	22 VI	+3,7	+3,4	13,7	11,6	+12,6	+7,1	50,4
Духовщина	3 VI	19 VI	-1,3	+0,4	1,7	0,2	-0,5	-0,9	0,8
Рудня	5 VI	20 VI	+0,7	+1,4	0,5	2,0	+1,0	+2,1	4,4
Гжатск	5 VI	19 VI	+0,7	+0,4	0,5	0,2	+0,3	+1,1	1,2
Сычевка	1 VI	16 VI	-3,3	-2,6	10,9	6,8	+8,6	-5,9	34,8
Демидов	4 VI	19 VI	-0,3	+0,4	0,5	0,2	-0,1	+0,1	0,0
Темкин	1 VI	14 VI	-3,3	-4,6	10,9	21,2	+15,2	-7,9	62,4
Рославль	31 V	14 VI	-4,3	-4,6	18,5	21,2	+19,8	-8,9	79,2
Жиздра	1 VI	14 VI	-3,3	-4,6	10,9	21,2	+15,2	-7,9	62,4
Сухиничи	4 VI	18 VI	-0,3	-0,6	0,1	0,4	+0,2	-0,9	0,8
Спас-Де-	6 VI	19 VI	+1,7	+0,4	2,9	0,2	+0,7	+2,1	4,4
менск	6 VI	20 VI	+1,7	+1,4	2,9	2,0	+2,4	+3,1	9,6
Мосальск	4 VI	18 VI	-0,3	-0,6	0,1	0,4	+0,2	-0,9	0,8
Малоярос-									
лавец									
Капуга									

Станция	Дата ко- шения x	Дата цве- тная y	Отклонение от средней		Δx^2	Δy^2	$\Delta x \Delta y$	$(\Delta x + \Delta y)$	$(\Delta x + \Delta y)^2$
			Δx	Δy					
Смоленск	3 VI	18 VI	-1,3	-0,6	1,7	0,4	+0,8	-1,9	3,6
Шокино	31 V	17 VI	-4,3	-1,6	18,5	2,6	+6,9	-5,9	34,8
Вязьма	4 VI	19 VI	-0,3	+0,4	0,1	0,2	-0,1	+0,1	0,0
Сумма	371	1152			881,0	737,2	740,0		3098,4
Средняя дата	4, 3 VI	18,6 VI							

Проверка расчетов по равенству

$$\Sigma \Delta x^2 + \Sigma \Delta y^2 + 2\Sigma (\Delta x \Delta y) = \Sigma (\Delta x + \Delta y)^2$$

$$881,0 + 737,2 + 1480,0 = 3098,4$$

Расчет коэффициента корреляции и уравнения регрессии

$$r = \frac{\Sigma \Delta x \Delta y}{\sqrt{\Sigma \Delta x^2 \Sigma \Delta y^2}} = \frac{740,0}{\sqrt{884,0 \cdot 737,2}} = \frac{740,0}{\sqrt{649473,2}} = 0,918, \quad r = 0,92,$$

$$a_2 = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} = \frac{1-0,8427}{9,2} = \frac{0,1573}{9,2} = \pm 0,02;$$

$$a_y = \sqrt{\frac{\Sigma \Delta y^2}{n}} = \sqrt{\frac{737,2}{85}} = 3,22;$$

$$\sqrt{\frac{\Sigma \Delta x^2}{n}} = \sqrt{\frac{881,0}{85}} = 3,22;$$

$$a = r \frac{a_y}{a_x} = 0,918 \cdot 0,913 = 0,84;$$

$$y - \bar{y} = a(x - \bar{x}),$$

$$y - 18,6 = 0,84(x - 4,3), \quad y = 0,84x - 3,61 + 18,6, \quad y = 0,84x + 15,0.$$

Ошибка уравнения

$$S_y = \pm a_y = \sqrt{1-r^2} = \pm 2,94 \sqrt{1-(0,918)^2},$$

$$S_y = \pm 2,94 \sqrt{1-0,8427} = \pm 2,94 \sqrt{0,1573},$$

$$S_y = \pm 117.$$

РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕЖФАЗНОГО ПЕРИОДА
И СРЕДНЕЙ МНОГОЛЕТНЕЙ ДАТЫ ПОСАДКИ

Год	Сорт	Дата		Продолжительность межфазного периода	Год	Сорт	Дата		Продолжительность межфазного периода
		посад- ки	цвете- ния				посад- ки	цвете- ния	
Пинега									
1936	Мест- ный	8 VI	29 VII	51	1939	Мест- ный	12 VI	10 VIII	59
1938	То же	2 VI	25 VII	53	1940	То же	8 VI	25 VIII	78
1939		22 VI	10 VIII	49	1941		1 VII	22 VIII	52
1940	"	14 VI	20 VIII	67	1942	"	4 VI	19 VIII	79
1941	"	19 VI	20 VIII	62	1948	"	4 VI	28 VII	54
1946	"	10 VI	15 VIII	66	1949	"	16 VI	22 VIII	67
1947	"	7 VI	2 VIII	56	1951	"	26 VI	12 VIII	47
1948	"	1 VI	31 VII	60	1952	"	15 VI	10 VIII	56
1949	"	12 VI	24 VIII	73	1953	"	3 VI	4 VIII	62
1950	"	5 VI	14 VIII	70	1954	"	6 VI	31 VIII	86
1951	"	8 VI	20 VIII	73	1955	"	2 VI	20 VIII	79
1952	"	20 VI	31 VII	41	1956	"	1 VI	26 VIII	86
1953	"	18 VI	10 VIII	53	1957	"	31 V	22 VII	52
1954	"	13 VI	31 VII	48	1958	Ран- няя	3 VI	10 VIII	68
1955	"	9 VI	28 VIII	80	1962	Роза	28 V	10 VIII	74
1956	"	11 VI	18 VIII	68	1960	То же	20 V	23 VII	64
1957	"	1 VI	31 VII	60	1961	То же	10 VI	17 VIII	68
1958	"	4 VI	20 VIII	77	1959	"	4 VI	31 VII	57
1960	"	31 V	31 VII	61	1963	"	19 V	27 VII	69
1961	"	9 VI	26 VII	47	1964	"	6 VI	4 VIII	59
1962	"	5 VI	2 VIII	58	1965	"	12 VI	29 VIII	78
1963	"	28 V	4 VIII	68	1966	"	13 VI	24 VIII	72
1964	"	10 VI	2 VIII	53					
1966	"	6 VI	8 VIII	63					
Сумма		955	948	1457	Сумма		829	953	1466
Число лет	24				Число лет	22			
Средняя дата посадки	8,8 VI				Средняя дата посадки		6,7 VI		
Средняя дата цветения		8, 5 VIII			Средняя дата цветения			12, 3 VIII	
Средний межфаз- ный период			60,7		Средний межфаз- ный период				66,6

РАСЧЕТ СРЕДНЕГО КВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ
МЕЖФАЗНОГО ПЕРИОДА ПОСАДКА — ЦВЕТЕНИЕ

Год	x	Δx	Δx²	Год	x	Δx	Δx²
-----	---	----	-----	-----	---	----	-----

Пинера				Лешуконское			
1936	51	-9,7	94,1	1939	59	-7,6	57,8
1938	53	-7,7	59,3	1940	78	+11,4	130,0
1939	49	-11,7	136,9	1941	52	-14,6	213,2
1940	67	+6,3	39,7	1942	79	+12,4	153,8
1941	62	+1,3	1,7	1948	54	-12,6	158,8
1946	66	+5,3	28,1	1949	67	+0,4	0,2
1947	56	-4,7	22,1	1951	47	-19,6	384,2
1948	60	-0,7	0,5	1952	56	-10,6	112,4
1949	73	+12,3	151,3	1953	62	-4,6	21,2
1950	70	+9,3	86,5	1954	86	+19,4	376,4
1951	73	+12,3	151,3	1955	79	+12,4	153,8
1952	41	-19,7	388,1	1956	86	+19,4	376,4
1953	53	-7,7	59,3	1957	52	-14,6	213,2
1954	48	-12,7	161,3	1958	68	+1,4	2,0
1955	80	+19,3	372,5	1962	74	+7,4	54,8
1956	68	+7,3	53,3	1960	64	-2,6	6,8
1957	60	-0,7	0,5	1961	68	+1,4	2,0
1958	77	+16,3	265,7	1959	57	-9,6	92,2
1960	61	+0,3	0,1	1963	69	+2,4	5,8
1961	47	-13,7	187,7	1964	59	-7,6	57,8
1962	58	-2,7	7,3	1965	78	+11,4	130,0
1963	68	+7,3	53,3	1966	72	+5,4	29,2
1964	53	-7,7	59,3				
1966	63	+2,3	5,3				
Число лет	24		2385,2	Число лет	22		2732,0
Сумма	1457			Сумма	1466		
Средняя	60,7			Средняя	66,6		

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{2385,2}{23}} = \pm 10,2;$$

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, m = \pm 2,0,$$

x — межфазный период,
Δx — отклонение от средней

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{2732,0}{21}} = \pm 11,4;$$

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, m = \pm 2,0$$

ГРУППИРОВКА СТАНЦИЙ ПО СРОКАМ ПОСАДКИ

Станция	Дата посадки	Межфаз- ный период	Станция	Дата посадки	Межфаз- ный период
Группа I (25 V—29 V)			Группа II (30 V—3 VI)		
Вологда, Мочу- ное	25,9 V	61,2	Борисово-Судское	30,0 V	66,2
Вытегра	28,9 V	63,3	Нюксеница	30,4 V	62,5
Кириллов	27,0 V	63,2	Белозерск	29,7 V	59,2
Устюжна	25,2 V	64,9	Сыктывкар	1,7 VI	62,0
Коробово	26,7 V	64,7	Пустошь	31,0 V	63,5
Череповец	25,6 V	62,0	Усть-Унья	1,2 VI	64,5
Никольск	29,2 V	61,8	Шенкурск	2,1 VI	64,7
Чарозеро	29,2 V	61,6	Двинский Берез- нак	1,1 VI	57,0
Онега	27,0 V	62,9	Гурасово	2,1 VI	63,2
Сумма	244,7	565,6	Емецк	1,5 VI	62,4
Число станций	9		Холмогоры	2,2 VI	63,7
Средняя дата посадки	27,2 V		Вельск	1,7 VI	63,2
Средний межфаз- ный период		62,8	Сумма	382,7	752,1
			Число станций	12	
			Средняя дата посадки	31,9 V	
			Средний межфаз- ный период		62,7
Группа III (4 VI—8 VI)			Группа IV (9 VI—13 VI)		
Шангалы	3,9 VI	61,6	Ижма	8,6 VI	55,1
Вожегда	6,1 VI	60,8	Троицко-Печор- ское	9,0 VI	59,7
Вендинга	7,4 VI	56,7	Пинера	8,8 VI	60,7
Лунь	6,1 VI	55,9	Усть-Шугор	9,2 VI	62,0
Усть-Кулом	7,0 VI	55,5	Усть-Уса	11,2 VI	55,1
Мезень	5,7 VI	69,6	Окуловская	10,0 VI	61,6
Каргополь	4,9 VI	60,5	Нарьян-Мар	14,1 VI	55,7
Лешуконское	6,7 VI	66,6	Вилегодское	10,4 VI	52,0
Верхняя Тойма	4,8 VI	57,6	Усть-Цильма	8,4 VI	55,2
Архангельск, опытное поле	7,9 VI	59,3			
Конено	8,2 VI	58,9			
Сумма	68,7	663,0	Сумма	89,7	517,1
Число станций	11		Число станций	9	
Средняя дата посадки	6,2 VI		Средняя дата посадки	10,0 VI	
Средний межфаз- ный период		60,2	Средний межфаз- ный период		57,4

РАСЧЕТ СРЕДНЕГО МНОГОЛЕТНЕГО МЕЖФАЗНОГО ПЕРИОДА ПОСАДКА — ЦВЕТЕНИЕ, ПРИВЕДЕННОГО
К КАЛЕНДАРНОМУ СРОКУ ПОСАДКИ

Станция	Средняя дата посадки	Средний межфазный период	Поправка на кален- дарную дату посадки 1/VI	Исправ- ленный межфазный период	Дата цветения (при посадке 1/VI)		Поправка на кален- дарную дату посадки 5/VI	Исправ- ленный межфазный период	Дата цветения (при посадке 5/VI)	
Емецк	1,5 VI	62,4	+0,3	62,7	2,7 VIII	33,7 VII	—1,5	60,9	4,9 VIII	35,9 VII
Онега	27,0 V	62,9	—0,7	62,2	2,2 VIII	33,2 VII	—2,1	60,8	4,8 VIII	35,8 VII
Конево	8,2 VI	58,9	+3,9	62,8	2,8 VIII	33,8 VII	+2,1	61,0	5,0 VIII	36,0 VII
Турчасово	2,1 VI	63,2	+0,4	63,6	3,6 VIII	34,6 VII	—1,3	61,9	5,9 VIII	36,9 VII
Коноша	1,3 VI	63,0	+0,2	63,2	3,2 VIII	34,2 VII	—1,6	61,4	5,4 VIII	36,4 VII
Верхняя Тойма	4,8 VI	57,6	+1,7	59,3	30,3 VII	30,3 VII	0	57,6	1,6 VIII	32,6 VII
Вельск	1,7 VI	63,2	+0,4	63,6	3,6 VIII	34,6 VII	—1,4	61,8	5,8 VIII	36,8 VII
Вилегодское	10,4 VI	52,0	+5,6	57,6	28,6 VII	28,6 VII	+3,8	55,8	30,8 VII	30,8 VII
Каргополь	4,9 VI	60,5	+1,8	62,3	2,3 VIII	33,3 VII	0	60,5	4,5 VIII	35,5 VII
Пинега	8,8 VI	60,7	+4,3	65,0	5,0 VIII	36,0 VII	+2,5	63,2	7,2 VIII	38,2 VII
Шенкурск	2,1 VI	64,7	+0,8	65,5	5,5 VIII	36,5 VII	—1,3	63,4	7,4 VIII	38,4 VII
Лешуконское	6,7 VI	66,6	+2,7	69,3	9,3 VIII	40,3 VII	+1,0	67,6	11,6 VIII	42,6 VII
Холмогоры	2,2 VI	63,7	+0,7	64,4	4,4 VIII	35,4 VII	—1,3	62,4	6,4 VIII	37,4 VII
Шангалы	3,9 VI	61,6	+1,4	63,0	3,0 VIII	34,0 VII	—0,4	61,2	5,2 VIII	36,2 VII
Архангельск, опытное поле	7,9 VI	59,3	+3,8	63,1	3,1 VIII	34,1 VII	+2,0	61,3	5,3 VIII	36,3 VII
Двинский Березняк	1,1 VI	57,0	0	57,0	28,0 VII	28,0 VII	—1,6	55,4	30,4 VII	30,4 VII

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулаев А. Г. Оценка условий влагообеспеченности и формирования урожая хлопчатника в Узбекистане. — Метеорол. и гидрол., 1970, № 7.
2. Агроклиматические и водные ресурсы районов освоения целинных и залежных земель. Л., Гидрометеоиздат, 1965.
3. Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии. Л., Гидрометеоиздат, 1952.
4. Аппатьев А. М. Влагооборот культурных растений. Л., Гидрометеоиздат, 1954.
5. Аппатьев А. М. Вопросы водопотребления культурных растений. — В кн.: «Биологические основы орошаемого земледелия». М., Изд-во АН СССР, 1957.
6. Аппатьев А. М. Биологические основы водопотребления орошаемых культур. — В кн.: «Орошаемое земледелие Европейской части СССР». М., «Колос», 1965.
7. Аппатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
8. Аппатьев С. М. Поливной режим сельскохозяйственных культур в южной части Украины. Реферат работ, представленных на соискание ученой степени доктора с.-х. наук. Киев, 1965.
9. Аппатьев С. М. Возрастные изменения испарения у растений и поливной режим. — В кн.: «Биологические основы орошаемого земледелия». М., «Наука», 1966.
10. Батманов В. А. Биоклиматическая карта Урала. — В кн.: «Весеннее развитие растительности». Свердловск, 1934.
11. Батманов В. А. Метод макрофенологического картографирования. — Геогр. сб., 1957, № 9.
12. Батманов В. А. О методике составления фенологических карт для яровых культур — Сборник работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. Вып. 5. Свердловск, 1966.
13. Бессонова Е. В. Засуха в различные периоды развития сельскохозяйственных растений и ее влияние на урожайность. — В кн.: «Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай». Л., Гидрометеоиздат, 1958.
14. Бессонова Е. В. К вопросу составления фенологических карт сельскохозяйственных культур. — В кн.: «Доклады совещания актива фенологов Географического общества СССР 2—4 февраля 1966 г.». Л., 1967.
15. Белобородова Г. Г. Об агрометеорологическом обосновании поливных режимов сельскохозяйственных культур. — Вест. с.-х. науки, 1960, № 2.
16. Быков Н. И. Агрогидрологический режим почв Среднего Поволжья. Л., Гидрометеоиздат, 1967.
17. Буяков М. В. и др. Корреляционные функции сумм осадков и ошибки при измерении слоя летних осадков по данным осадкомерной сети Экспериментального метеорологического полигона. — Тр. УкрНИИМИ, 1967, вып. 67.
18. Веригин С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Л., Гидрометеоиздат, 1963.
19. Волф В. Г. Статистическая обработка опытных данных. М., «Колос», 1966.
20. Вопросы агроклиматического районирования СССР. Под ред. Ф. Ф. Давыта, А. И. Шульгина. М., Изд-во МСХ СССР, 1958.

21. Высоцкий Г. Н. Избранные труды. М., Сельхозгиз, 1960.
22. Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. М., Гидрометеоздат, 1960.
23. Гольдберг И. А. Составление таблиц вероятностей различных метеорологических элементов. — *Тр. ГГО*, 1958, вып. 85.
24. Гольдберг И. А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л., Гидрометеоздат, 1961.
25. Гольдберг И. А. Картирование некоторых показателей термического режима воздуха. — *Тр. ГГО*, 1961, вып. 113.
26. Гольдберг И. А. Современное состояние и задачи в области климатического картографирования СССР. — В кн.: «Тематическое картографирование в СССР». Л., «Наука», 1967.
27. Гулинова Н. В. О фенологическом картографировании. — *Тр. ЦИП*, 1965, вып. 140.
28. Гушина М. В., Катан Р. Л. О статистической структуре поля осадков. — *Тр. ГГО*, 1966, вып. 191.
29. Гушина М. В., Катан Р. Л., Полищук А. И. О точности определения среднего слоя осадков на площади. — *Тр. ГГО*, 1967, вып. 208.
30. Давитая Ф. Ф. Исследования климатов винограда в СССР и обобщение их практического использования. М. — Л., Гидрометеоздат, 1952.
31. Давитая Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. М., Гидрометеоздат, 1964.
32. Данильченко Н. В. Методы определения суммарного водопотребления и расчет поливных режимов сельскохозяйственных культур (для предгорных районов юго-востока Казахстана). Автореф. дисс. М., 1965.
33. Дроздов О. А. Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Л., Изд. ЛГУ, 1956.
34. Инт Л. Э. Влияние температуры почвы на сроки посадки картофеля в Эстонии. Доклады фенологической комиссии Всесоюзного географического общества. № 3, 1966.
35. Кельчевская Л. С. Агроклиматическое обоснование сроков сева сахарной свеклы в Западной Сибири. — *Метеорол. и гидрол.*, 1962, № 7.
36. Кельчевская Л. С. Агроклиматическое районирование сахарной свеклы в Западной Сибири. — *Вестн. с.-х. науки*, 1964, № 9.
37. Кельчевская Л. С. Учет в агроклиматических исследованиях поглощения почвы осенне-зимних осадков. — *Тр. ИЗМ*, 1969, вып. 8.
38. Кельчевская Л. С., Филофеева А. Ф. Асинхронность урожая сахарной свеклы. — *Метеорол. и гидрол.*, 1968, № 11.
39. Кельчевская Л. С., Нестеренко О. И. Методика по обработке данных фенологических наблюдений и их картированию. — *Тр. ИЗМ*, 1969, вып. 13.
40. Клещенко А. Д. Зависимость суммарного испарения с посевов пропашных культур и агрометеорологических условий. — *Метеорол. и гидрол.*, 1969, № 7.
41. Климатические ресурсы центральных областей Европейской части СССР и использование их в сельскохозяйственном производстве. Гидрометеоздат, Л., 1956.
42. Конторшикова О. М. Оценка водообеспеченности посевов сахарной свеклы. Сб. метеорологических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Гидрометеоздат, Л., 1957.
43. Конторшикова А. С. О методе агроклиматических расчетов осенней влажности почвы. — *Тр. ЦИП*, 1960, вып. 98.
44. Конторшиков А. С. Зависимость средних многолетних запасов продуктивной влаги осенью от почвенно-климатических факторов и распределение этих запасов на Европейской территории СССР. — *Тр. ЦИП*, 1962, вып. 101.
45. Кузнецова Л. П. Роль рельефа и лесов в распределении количества осадков на равнине. — *Тр. ГГО*, 1957, вып. 72.
46. Кузнецова Л. П. К вопросу о механизме влияния возвышенностей на осадки. — *Тр. ГГО*, 1961, вып. 111.
47. Курпелова М. Н. Фенологическая характеристика Подунайской низменности. Географический журнал, 1958.
48. Лебедев А. Н. Графики и карты для расчета климатических характеристик различной обеспеченности на Европейской территории СССР. Л., Гидрометеоздат, 1960.
49. Лекции по сельскохозяйственной метеорологии. Под ред. М. С. Кулика, В. В. Синельникова. Л., Гидрометеоздат, 1966.
50. Лидов В. П., Сетунская Л. Е., Хмелева Н. В. Исследование микроформ разрыва количественными методами. Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. М., Изд-во АН СССР, 1956.
51. Львов Г. К. Орошение сельскохозяйственных культур в предгорьях Центральной части Северного Кавказа. Нальчик, 1960.
52. Львов Г. К. Биологическое обоснование поливного режима сельскохозяйственных культур в предгорьях Северного Кавказа. — В кн.: «Биологические основы орошаемого земледелия». М., «Наука», 1966.
53. Малышева Г. С. К методике среднемасштабного фенологического картографирования. — *Изв. ВГО*, 1964, т. 96, вып. 3.
54. Малышева Г. С. Принципы и методы мелкомасштабного фенологического картографирования. Автореф. дисс. Л., 1964.
55. Малышева Г. С. Методическое руководство по составлению фенологических карт. Л., «Наука», 1968.
56. Малюгин Е. А., Шахнович А. В., Смирнова В. А. Потребление влаги и микроклимат яровой пшеницы в условиях орошения. — В кн.: «Биологические основы орошаемого земледелия». М., Изд-во АН СССР, 1957.
57. Материалы по агроклиматическому районированию субтропиков СССР. Изд. ЦИТМС, 1936.
58. Мельник Ю. С. Оценка условий влагообеспеченности и формирования урожая семян подсолнечника на Северном Кавказе. — *Тр. ЦИП*, 1965, вып. 145.
59. Методические указания для составления Агроклиматического справочника по наблюдениям гидрометеорологической (агрометеорологической) станции. Л., Гидрометеоздат, 1959.
60. Методические указания по составлению агроклиматических справочников района деятельности производственных колхозно-совхозных управлений. М., 1963.
61. Методические указания по составлению справочников «Агроклиматические ресурсы области». М., Гидрометеоздат, 1967.
62. Методическое пособие по картированию влажности почвы. Л., Гидрометеоздат, 1970.
63. Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Л., Гидрометеоздат, 1957.
64. Микроклиматические наблюдения в колхозах и совхозах. Л., Гидрометеоздат, 1962.
65. Микроклимат СССР. Под ред. И. А. Гольдберга. Л., Гидрометеоздат, 1967.
66. Микроклимат холмистого рельефа и его влияние на сельскохозяйственные культуры. Под ред. И. А. Гольдберга. Л., Гидрометеоздат, 1962.
67. Мировой агроклиматический справочник. Л. — М., Гидрометеоздат, 1937.
68. Мирнова Е. А. Опыт морфометрической характеристики эрозонных процессов. — В кн.: «Сельскохозяйственная эрозия и новые методы ее изучения». М., Изд-во АН СССР, 1958.
69. Мищенко З. А. Суточный ход температуры воздуха и его агроклиматическое значение. Л., Гидрометеоздат, 1962.
70. Мищенко З. А. Географическое распределение среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха на земном шаре. — *Тр. ГГО*, 1966, вып. 192.
71. Мкртчян Р. С. Агроклиматическая характеристика условий произрастания сельскохозяйственных культур в Армянской ССР. Л., 1961.
72. Мкртчян Р. С. О принципах фитофенокартирования в горных странах на примере Армянской ССР. — В кн.: «Доклады фенот. сектора», вып. 2(18), 1966.

73. Новиков А. Г. Опыт применения механизированной разработки данных агрометеорологических наблюдений для характеристики агрометеорологических условий произрастания яровой пшеницы. — *Тр. ЦИП*, 1965, вып. 140.
74. Огородников Б. И. Сроки зацветания и созревания земледелия в Центральном районе нечерноземной полосы Европейской территории СССР. — *Тр. ЦИП*, 1961, вып. 107.
75. Перегудов В. Н. Метод наименьших квадратов и его применение в исследованиях. М., «Статистика», 1965.
76. Погода и урожай. Под ред. А. А. Киселевского. М., Гидрометеоиздат, 1969. (*Тр. УкрНИИМ*, вып. 84).
77. Проценков А. В. Погода и уборка комбайном зерновых культур. Л., Гидрометеоиздат, 1962.
78. Руководство по контролю и обработке наблюдений над влажностью и промерзанием почвы. Л., Гидрометеоиздат, 1955.
79. Руководство по контролю и обработке наблюдений над фазами развития сельскохозяйственных культур. Л., Гидрометеоиздат, 1955.
80. Руководство по составлению агрометеорологических прогнозов. Л., Гидрометеоиздат, 1962.
81. Руководство по составлению и подготовке к печати агрометеорологических ежегодников. М., Гидрометеоиздат, 1955.
82. Сапожников С. А. Опыт агроклиматического районирования территории СССР. — В кн.: «Вопросы агроклиматического районирования СССР». М., Изд. МСХ СССР, 1958.
83. Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Л., Гидрометеоиздат, 1967.
84. Селянинов Г. Т. Климатические аналогии Черноморского побережья Кавказа. — *Тр. по прикл. бот. и селекции*, 1928, т. 21, № 2.
85. Семенов А. Л. Г. Определение местоположения станций по их термическому режиму. — *Тр. ГГО*, 1965, вып. 180.
86. Сенников В. А. Агроклиматические ресурсы первого периода вегетации зерновых на юго-востоке Западной Сибири. — *Тр. НИИАС* (Новосибирский филиал), 1967, вып. 48.
87. Сенников В. А. Особенности особенностей периода уборки зерновых культур на юго-востоке Западной Сибири. — В кн.: «Вопросы географии Западной Сибири». Вып. 2. Новосибирск, 1968.
88. Сиротенко О. Д. Использование данных об осадках в статистических схемах для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. — *Метеорол. и гидрол.*, 1967, № 9.
89. Сиротенко О. Д. Получение и использование данных о статистической структуре полей осадков в агрометеорологических расчетах. — *Тр. ИЗМ*, 1969, вып. 8.
90. Сиротенко О. Д. Статистическая структура полей декадных сумм осадков на Европейской территории СССР в теплую часть года. — *Тр. ИЗМ*, 1970, вып. 18.
91. Смирнова В. А. Агроклиматическое районирование территории СССР по продуктивности комплекса масличных и маслинно-волокнистых культур. — В кн.: «Фруды Всесоюзного научного метеорологического совещания». Т. 8, Л., Гидрометеоиздат, 1963.
92. Соколов С. С. Развитие эрозийных процессов на территории ЕТС и борьба с ними. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948.
93. Спиридонов А. И. Геоморфологическая картография. М., Географиз, 1952.
94. Степанов В. Н. Биологическая классификация сельскохозяйственных растений полевой культуры. — *Изв. ТСХА*, 1957, вып. 2.
95. Струнников Э. А. О расчете водопотребления в агроклиматических справочниках. — *Гидротехника и мелиорация*, 1969, № 4.
96. Темникова Н. С. Климат Северного Кавказа и прилегающих степей. Л., Гидрометеоиздат, 1959.
97. Труды научно-исследовательского института агроклиматологии, вып. 23. М., Гидрометеоиздат, 1963.
98. Тузов П. Г. К вопросу о назначении сроков полива сельскохозяйственных культур по дефициту влажности почвы. — *Тр. ЗапНИИМ*, 1965, вып. 23.
99. Турманидзе Т. И. К методике прогноза суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур и оросительных норм. — *Метеорол. и гидрол.*, 1967, № 9.
100. Турманидзе Т. И. О суммарном водопотреблении винограда и оптимальных оросительных нормах виноградарей в Грузинской ССР. — *Сб. раб. Тбилисской ГМО*, вып. 5, Тбилиси, 1969.
101. Уланова Е. С. Методы агрометеорологических прогнозов. Л., Гидрометеоиздат, 1959.
102. Уланова Е. С. Применение математической статистики в агрометеорологии для нахождения связей. М., Гидрометеоиздат, 1964.
103. Уланова Е. С. Метод долгосрочного прогноза агрометеорологических условий формирования урожая озимой пшеницы. — *Тр. ЦИП*, 1965, вып. 145.
104. Уланова Е. С., Сиротенко О. Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. Л., Гидрометеоиздат, 1968.
105. Федосеев А. П. Климат и пастбищные травы Казахстана. Л., Гидрометеоиздат, 1964.
106. Харин Н. Г. Карты сезонного развития абрикоса в Средней Азии. — *Изв. АН ТаджССР*, 1966, № 5. Сер. биол.
107. Харин Н. Г. Карты сезонного развития пустынной растительности. — *Изв. АН ТаджССР*, 1966, № 1. Сер. биол.
108. Харин Н. Г. Методика составления фенологических карт. — В кн.: «Аэрофотосъемка и картографирование лесов Сибири». М., «Наука», 1966.
109. Цеплядзе Ш. И. Методика расчета средних сроков основных фенофаз сельскохозяйственных культур. — В кн.: «Тезисы, докл. на координационном совещ. по агрометеорол. прогнозам». Тбилиси, 1967 (рукоп.).
110. Ченцов В. Н. Морфометрические показатели на геоморфметрической карте малого масштаба. — В кн.: «Проблемы геоморфологии». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948.
111. Чирков Ю. И. Агрометеорологические условия и продуктивность культур. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
112. Чхенкели И. А., Сичинава П. С., Губеладзе Дж. И. Метод установления сроков полива сельскохозяйственных культур в условиях Восточной Грузии. — *Тр. Груз. СХИ*, 1964, вып. 61—62.
113. Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М., «Колос», 1967.
114. Шмидт В. М. О возможности интерполяции изотерм с помощью репресентационного анализа. В кн.: «Доклады совещания актива фенологов географического общества СССР 2—4 февраля 1966 г.», Л., 1967.
115. Шнелле Ф. Фенология растений. Л., Гидрометеоиздат, 1961.
116. Штойко Д. А. Нормативы проектирования режимов орошения сельскохозяйственных культур и гидромодуля в условиях интенсивного использования орошаемых земель. — В кн.: «Орошаемое земледелие Европейской части СССР». М., «Колос», 1965.
117. Шульц Г. Э. Роль математики при обработке фенологических наблюдений. — В кн.: «Применение математических методов в биологии». Л., Изд-во АН СССР, 1960.
118. Шульц Г. Э. Фенологические карты и возможности их применения в геоботанике. — В кн.: «Принципы и методы геоботанического картографирования». М.—Л., 1962.
119. Kugrelova M. Rhytologisches charakteristik visoko polozenich kotlin na slovenski Geograficki Sasoris Bratislava. 1963.
120. Napp J. Handbuch der Klimatologie. 1912.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
<i>Часть первая</i>	
Методы обработки наблюдений	
для оценки агроклиматических ресурсов территории	
Раздел 1. Расчеты по оценке теплообеспеченности вегетационного периода	8
1.1. Построение графика годового хода средней месячной температуры воздуха	9
1.2. Графический метод обработки экстремальных температур	10
1.3. Определение дат перехода температуры воздуха через различные пределы	13
1.4. Построение интегральных кривых распределения дат перехода температуры воздуха через различные пределы	17
1.5. Построение расчетных графиков-номограмм	19
1.6. Расчет продолжительности периода с температурами выше определенных пределов	21
1.7. Расчет сумм активных и эффективных температур за вегетационный период	22
1.8. Расчеты обеспеченности вегетационного периода теплом	25
1.9. Оценка напряженности тепла в период вегетации	31
1.10. Расчеты по весенним и осенним заморозкам различной степени интенсивности и различной вероятности	32
1.11. Расчеты по длительности безморозного периода	43
1.12. Построение карт теплообеспеченности	—
1.13. Методика построения фоновых карт	51
1.14. Построение крупномасштабных микроклиматических карт	—
Раздел 2. Расчеты влагообеспеченности вегетационного периода	57
2.1. Использование средних многолетних данных по осадкам и их расчеты	—
2.2. Точность интерполяции, экстраполяции и осреднения сумм осадков по площадям	—
2.3. Построение интегральных кривых и номограмм обеспеченности осадков	60
2.4. Картирование осадков	64
2.5. Расчет различных показателей увлажненности	66
2.6. Расчеты дат начала и конца избыточно влажных, засушливых и сухих периодов и их продолжительности	68
2.7. Расчет сумм температур, обеспеченных осадками	69
Раздел 3. Расчеты для оценки условий перезимовки	70
3.1. Средний из абсолютных годовых минимумов температур	—
3.2. Расчет вероятности минимальных температур в отклонениях от средней из абсолютных годовых минимумов и построение кривых вероятности	—
3.3. Картирование средних из абсолютных годовых минимумов температур воздуха	72
3.4. Обработка данных по минимальной температуре почвы	75

3.5. Обработка данных наблюдений по снежному покрову	76
3.6. Расчеты повторяемости различных высот снежного покрова	79
3.7. Расчеты распределения снежного покрова на полях	80
3.8. Обработка данных наблюдений над промерзанием почвы	83

Часть вторая

Методы обработки наблюдений для оценки агроклиматических условий произрастания сельскохозяйственных культур

Раздел 1. Расчеты по агроклиматической оценке тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур	84
1.1. Климатические, биологические и биоклиматические суммы температур	—
1.2. Расчеты обеспеченности теплом озимых посевов в осенний период их развития	86
1.3. Оценка условий произрастания теплолюбивых культур при разных сроках сева	90
Раздел 2. Расчеты по оценке влагообеспеченности сельскохозяйственных культур	94
2.1. Потребность сельскохозяйственных культур во влаге и ее влагообеспеченность	—
Раздел 3. Методика обработки наблюдений над влажностью почвы	99
3.1. Группировка станций по местоположению	—
3.2. Технический и критический контроль материалов наблюдений над влажностью почвы	—
3.3. Пополнение имеющихся материалов данными за пропущенные сроки наблюдений	100
3.4. Пополнение имеющихся рядов данными за пропущенные годы наблюдений	104
3.5. Выделение средних многолетних величин и приведение их к одному периоду	107
3.6. Построение графиков многолетнего годового хода запасов продуктивной влаги	—
3.7. Расчеты вероятности запасов продуктивной влаги в почве на ту или иную фазу развития культуры	108
3.8. Пополнение сети станций данными по влажности почвы	110
3.9. Картирование запасов продуктивной влаги в почве	116
Раздел 4. Обработка данных фенологических наблюдений и их картирование	125
4.1. Приведение фенологических наблюдений к однородному многолетнему ряду	—
4.2. Расчет вероятности наступления фенологических фаз сельскохозяйственных культур	133
4.3. Аналитический метод фенологического картирования	134
4.4. Особенности методики фенологического картирования в горных условиях	160
Раздел 5. Количественная оценка агроклиматических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур	163
5.1. Методы расчета количественных агроклиматических показателей формирования урожая	164
5.2. Оценка условий формирования урожая сельскохозяйственных культур и районирование территории по продуктивности культур	178
Раздел 6. Расчеты по оценке условий уборки сельскохозяйственных культур	181
Приложения	186
Литература	209

Кельчевская Людмила Сергеевна

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ
В АГРОКЛИМАТОЛОГИИ**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Отв. редактор *В. А. Сенников*

Редактор *А. Б. Котиковская*

Техн. редактор *М. С. Костакова*

Корректоры: *Е. И. Бородина* и *Г. С. Макарова*

Сдано в набор 18/III 1971 г. Подписано к печати 18/VIII 1971 г.
Бумага тип. № 1, фор. 60×90¹/₁₆. Бум. л. 6,75+1 вкл. Печ. л. 13,5.
Уч.-изд. л. 15,67. Тираж 1400 экз. М-25341.
Индекс АИ-1. Гидрометеорологическое издательство
Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23. Заказ № 164. Цена 97 коп.

Ленинградская типография № 8 Главполиграфпрома Комитета
по печати при Совете Министров СССР. Ленинград. Прачечный
пер., д. № 6.