

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА

Е.И. ПАНКОВА, Д.А. СОЛОВЬЕВ

ДИСТАНЦИОННЫЙ
МОНИТОРИНГ
ЗАСОЛЕНИЯ
ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

МОСКВА 1993

Российская академия сельскохозяйственных наук

Почвенный институт имени В.В. Докучаева

Е.И. Пансова, Д.А. Соловьев

ДИСТАНЦИОННЫЙ
МОНИТОРИНГ
ЗАСОЛЕНИЯ ОРОШАЕМЫХ
ПОЧВ

Москва 1993

Разработан дистанционный метод получения объективной и оперативной информации о засолении почв и динамике засоления, а также о мелиоративном состоянии орошаемых земель. Дано определение понятия "мониторинг засоления", его научное обоснование и основные этапы организации, изложен метод дистанционной диагностики засоления почв по аэро- и космоснимкам, определены требования к снимкам, разработаны дешифровочные признаки для оценки засоления почв, предложена оригинальная технология определения и картографирования степени засоления почв, описан созданный авторами метод составления карт многолетней динамики засоления почв на основе аэрофотоснимков.

Книга представляет интерес для широкого круга специалистов-практиков и научных работников, занимающихся проблемами изучения и мелиорации засоленных почв.

Ответственный редактор — академик РАСХН, профессор
Л. Л. Шварц

Рецензент — член-корр. РАСХН, профессор И. П. Айдаров

Russian Academy of Agricultural Sciences

V.V.Dokuchaev Soil Institute

Ye.I.Pankova, D.A.Soloviev

MONITORING OVER THE SALINIZATION OF IRRIGATED
SOILS BY REMOTE SENSING TECHNIQUES

Moscow 1993

Under consideration is a remote sensing technique elaborated to obtain the more objective and operative information on soil salinity, the dynamics of this process as well as on the meliorative state of irrigated soils. The concept of soil salinity monitoring is determined, the main stages of its organization are shown. Remote diagnosis of the soil salinity is realized by using aerial and outer space materials required; diagnostic features are elaborated to estimate the soil salinity; unique technology is suggested for mapping the degree of salinity; the authors method proves to be the most applicable for compiling the maps of the long-term soil salinity dynamics by means of aerospace materials.

The book is intended for anybody with an interest in reclamation of salt-affected soils.

Editor-in-chief: Prof.Dr.sc. L.L.Shishov.

Reviewer: Prof.Dr.sc. I.P.Aldarov.

ПОНЯТИЕ "МОНИТОРИНГ" ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Одной из актуальных задач генетического и мелиоративного почвоведения в аридных условиях является получение объективной информации о засоленных почвах: их свойствах, площадях распространения, динамике солевых процессов, без знания которых невозможно прогнозировать эволюцию этих почв, а также обосновывать методы их мелиорации. Особенно важно оперативно и точно решать эти проблемы для района орошаемого земледелия, где идет активное современное соленакопление. Для этих территорий необходимо создать постоянно действующую информационную систему (мониторинг), обеспечивающую получение оперативных сведений об объекте исследования.

Мониторинг как новое научное направление в изучении природной среды стал развиваться с начала семидесятых годов, что обусловлено двумя причинами: 1) ухудшением экологической обстановки, 2) техническим прогрессом, способным обеспечить получение новых средств оперативного контроля за состоянием природной среды.

В настоящее время понятие "экологический мониторинг" однозначно трактуется как постоянный учет, контроль и прогноз развития природной среды (в том числе почв и их свойств) на основе современных оперативных методов исследования, среди которых главное место занимает дистанционные (аэрокосмические) методы, подтвержденные наземными исследованиями (Герасимов, 1975; Израэль, 1979; Виноградов, 1984 и др.). Основные задачи и понятия

экологического мониторинга были сформулированы в программе ЮНЕСКО "Человек и биосфера" (Пушино, 1981) и ряде других публикаций. Согласно этим документам, цель мониторинга заключается в эффективном управлении состоянием окружающей среды в условиях динамично развивающихся обществ. Основные задачи его: слежение, контроль и прогноз состояния окружающей среды.

Выделяют три уровня мониторинга: а) глобальный, следящий за состоянием неслучайно изменяющегося фона, что связано с природными изменениями биосферы в целом; б) региональный, отражающий состояние среды, связанное с конкретными процессами в пределах ограниченного региона; в) локальный, контролирующий процессы, протекающие в условиях интенсивного использования природных ресурсов.

Критерием выбора объекта наблюдений должна быть высокая чувствительность его к любым изменениям природной среды. Для наблюдения желательно использовать стандартные методы: обязательна статистическая оценка точности получаемых наблюдений. Особое внимание при организации мониторинга рекомендуется уделять синхронности и сопоставимости проводимых наблюдений, а также разработке программного (математического) и технического обеспечения мониторинга.

Исследования, проводимые в рамках экологического мониторинга, должны в качестве логического завершения обеспечить получение сведений, необходимых для составления прогнозов и разработки рекомендаций по регулированию природных процессов.

Б.В.Виноградов (1966, 1981, 1984) одним из первых стал заниматься проблемой аэрокосмического мониторинга. Он дал следующее определение этого понятия: "...содержание

мониторинга можно сформулировать как систему наблюдения за окружающей средой, управления ею и контроля над ней для сохранения экологического равновесия в биосфере" (1981). Он выделил контактные (наземные) и аэрокосмические методы, которые вместе образуют единую экологическую информационную систему наблюдений. Основной задачей дистанционного, или аэрокосмического мониторинга является интерпретация дистанционных изменений, зафиксированных на снимках или магнитных лентах, отражающих состав, структуру и динамику экосистем. Вопросы экологического мониторинга рассмотрены также в публикациях Ю.А.Израэля (1979 и др.), П.Г.Харина (1980) и других авторов.

Почвенный мониторинг как наиболее важная составная часть экологического мониторинга также получил развитие в последнее десятилетие. До настоящего времени наблюдения за почвенным покровом и свойствами почв осуществлялись в большинстве случаев методом наземного почвенного картирования. Однако очевидно, что наиболее перспективным методом при создании почвенного мониторинга является аэрокосмический метод.

Общие положения, касающиеся создания основ дистанционного мониторинга почв и почвенного покрова, содержатся в ряде публикаций (Виноградов, 1966, 1981, 1984; Андроников, 1979; Андроников, Добровольский, 1986; Зонн и др., 1980, 1983; Розанов, Бельваков и др., 1986; Андроников и др., 1983, 1986 и т.д.). В работе Б.Г.Розанова с соавторами (1986) подробно рассматривается проблема создания почвенного мониторинга, обосновывается необходимость учета глобальных, региональных и локальных изменений почв, вызываемых природными и антропогенными

факторани, определяются общие и частные параметры плодородия почв, подлежащие наблюдению. Среди общих указаны: 1) влажность, 2) кислотность и щелочность, 3) плотность, 4) гниусность, 5) питательные элементы, 6) дыхание почвы. Среди частных (специфических) параметров, изучение которых необходимо лишь для определенных типов или территорий, выделяются: 1) засоленность, 2) солонцеватость, 3) окислительно-восстановительный потенциал и 4) микроразнообразие как техногенные химические загрязнители почв.

Засоленность является одной из главных характеристик почв аридных регионов, лимитирующих плодородие и определяющих их генетические и мелиоративные свойства. Засоленность быстро реагирует на изменения природных условий и антропогенные воздействия, является информативным свойством, отражающим процессы, протекающие в почвах в естественных условиях и при мелиорации. Поэтому в аридных регионах именно слежение за изменением засоленности почв позволяет получать необходимую информацию о процессах, происходящих в почвах. В дальнейшем для краткости эту систему мы будем называть "мониторингом засоления почв". Создание мониторинга засоления почв на орошаемых территориях аридных регионов, где происходит активный солеснос, является насущной задачей.

Известно, что до настоящего времени отсутствуют объективные сведения о площадях распространения засоленных почв, нет также достоверных материалов о пространственной динамике засоления почв даже в пределах отдельных объектов орошения. Это связано не только с тем, что традиционные методы картографирования засоления почв трудоемки и дороги.

но и с тем, что повторные солевые съемки, проводимые старыми методами, не позволяют получать сопоставимые и достоверные сведения об изменении засоления орошаемых почв в связи с большой природной пестротой и быстрой изменчивостью этой характеристики.

Дистанционный (аэрокосмический) мониторинг засоления почв включает в программу работ решение трех задач.

1. Инвентаризация засоленных почв на основе материалов аэросъемки и космической съемки, способной обеспечить получение объективной информации о засоленности почв.

2. Изучение сезонной и многолетней динамики засоления почв и скорости процессов засоления – рассоления на основе повторных солевых съемок, выполняемых по аэро (космо) снимкам, подтвержденных наземными исследованиями, в том числе данными о водном и солевом балансе территорий.

3. Прогноз развития процессов засоления – рассоления почв и разработка рекомендаций по управлению ими.

В настоящее время мониторинг как постоянно действующая оперативная информационная система в нашей стране не существует. Нет ни одного региона и даже хозяйства, где была бы завершена работа по организации мониторинга засоления почв по полной программе, хотя отдельные звенья этой общей системы уже отработаны как в нашей стране, так и за рубежом (Андроников, Королюк, 1985).

В задачу наших исследований входила разработка научно-методических основ создания мониторинга засоления орошаемых земель хлопкосеющей зоны и, прежде всего, разработка метода дистанционной диагностики засоления почв, без чего невозможно организовать аэрокосмический мониторинг.

ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Состояние проблемы

В настоящее время накоплено большое количество материалов, свидетельствующих о том, что на основе анализа фотоизображения можно получить информацию о засолении почв. К числу первых публикаций относятся работы Myers, Carter D.L., Rippen (1966) и П.А.Керзума и Г.Г.Земана (1967), в которых констатировалось, что аэрофотоснимки содержат информацию о степени засоления орошаемых почв. К сожалению, в них не рассматривалась методика работ с аэрофотоснимками и не приведены дешифровочные признаки. В 1973 г. были опубликованы "Краткие методические указания по использованию аэрофотоматериалов и фотоиндикации для оценки мелиоративного состояния земель" (Г.А.Козлечков, Г.И.Андреев, Л.М.Родионова), в которых для почв, с близким фотоизображением, установлены корреляционные зависимости между различными мелиоративными показателями и засолением. Однако в них отсутствуют дешифровочные признаки, позволяющие количественно оценить степень засоления почв.

В семидесятых годах по этой проблеме были начаты исследования в Почвенном институте им.В.В.Докучаева. По итогам исследований в сухостепной зоне Ф.И.Козловский, Т.В.Королёк и др. (1975) была опубликована работа "Методы машинного анализа аэрофотоснимков при почвенно-

нелиоративной характеристике территории". На основе измерения оптических плотностей снимка и отдельных свойств почв (в том числе засоления) устанавливались коррелятивные зависимости между фотоизображением и свойствами почв, позволяющие использовать эти связи для составления почвенно-нелиоративных карт (Козловский, Королик, 1980). В этот же период нами были начаты работы в Среднеазиатском регионе по выявлению возможности оценки засоления почв по фотоизображениям черно-белых панхроматических снимков. Исследования проводились в Новой зоне орошения Голодной степи Е.И.Панковой и В.М.Мазиковым и завершились серией статей (Панкова, Мазиков, 1975, 1975а, 1976, 1977, 1978, 1985 и др.).

Работы, выполненные нами в 70-х годах, дали обширную информацию о возможности использования аэрофотоснимков для оценки засоления почв. Впервые был определен объем сведений о засолении почв, который можно получить по черно-белым панхроматическим снимкам. Было доказано, что для почв разных ландшафтов аридной зоны — автоморфных, гидроморфных (целинных и пахотных — богарных), а также для орошаемых территорий снимки дают обширную информацию о засолении почв. При этом дешифрирование проводится по косвенным признакам, чаще всего по растительности, что согласовалось с материалами более ранних публикаций (Викторов, Востокова, Вишневкин, 1962; Виноградов, 1966 и др.).

Наибольшее внимание мы уделяли засолению почв орошаемых территорий, хотя исследовались и другие (неорошаемые) земли. Установлено, что по снимкам можно оценить площадь засоленных почв и степень засоления, но для этого необходимо иметь снимки, отвечающие строго определенным

требования. Для разных ландшафтов и разных сельскохозяйственных культур требования к снимкам, по которым можно получить информацию о засолении почвы, должны быть разными. Установлены и статистически обоснованы дешифровочные признаки для оценки степени засоления орошаемых почв под хлопчатником по черно-белым панхроматическим снимкам.

В основу дешифрирования положены тон и рисунок фотонизображения. Было констатировано, что основную информацию о засолении почвы несет рисунок фотонизображения, отражающий пятнистость полей хлопчатника, связанную с неоднородностью засоления.

Эти подходы к оценке засоления почвы орошаемых территорий, разработанные на материалах аэрофотосъемки, были позже опробованы нами на материалах космической съемки, они дали положительные результаты (Панкова, Головина и др., 1983, 1986).

Параллельно с нами над проблемой оценки засоления орошаемых почв работали и другие исследователи. Г.П.Бутивиненко (1980а, 1980) изучал информативность цветных, синтезированных снимков и других материалов для оценки засоления почвы. Исследования В.А.Харитонова с соавторами (1980, 1981, 1982) подтвердили возможность оценки засоления почвы под посевом хлопчатника на основе анализа фотонизображения. В отличие от наших подходов, в основу дешифрирования снимков ими был положен не рисунок, а тон фотонизображения, оцениваемый по плотности негатива на основе денситометрического анализа. Микрофотометрическая обработка негативов выполнялась на регистрирующем микрофотометре. По полученным данным (с учетом поправок на

оптическое искажение) определялись средние значения оптических плотностей и выводилась зависимость между оптической плотностью и засолением почв.

В.А.Емельянов и др.. (1980) , Н.А.Харин (1980) отмечали, что при оценке засоления орошаемых почв предпочтительнее использовать снимки инфракрасной зоны (0,7-1,1 мкм). Наши данные свидетельствует о том, что при визуальном дешифрировании многозональных снимков наиболее информативны снимки красной зоны (0,6-0,7 мкм), которые близки к черно-белым панхроматическим.

Диагностика засоленных почв по материалам космической съемки рассматривается в работах Э.А.Манедова и других (1981-1985). Авторы используют многозональные снимки в диапазонах 0,5-0,6 и 0,6-0,7 мкм, а также синтезированные цветные снимки. Их данные подтверждает возможность оценки засоления почв по тону фотонизображения.

Наряду с исследованием оценки засоления орошаемых почв по аэро- и космическим снимкам в этот же период проводились работы по выяснению информативности снимков для оценки засоления почв неорошаемых территорий (Вышивкин, 1975; Антонова, Крайцова, 1976). В работах А.Д.Вышивкина (1975), изучавшего засоленные неорошаемые почвы аридных регионов, подчеркивается, что пятнистость (мозаичность) фотонизображения на космических снимках характеризует засоленные почвы, что тип засоления по снимку оценить нельзя. Мы пришли к аналогичным выводам, исследуя на основе аэрофотоснимков засоление гидроморфных и автоморфных неорошаемых почв Давидзакской степи (Панкова и др., 1975, 1976, 1978). Наши данные показали, что рисунки фотонизображения позволяют разделить засоленные и

незасоленные целинные и богарные почвы. Засоленные почвы обычно характеризуются пятнистым фотонзображением, связанным с неоднородностью засоления. Мощность характеризованного слоя целинных почв зависит от факторов, определяющих фотонзображение, в частности, от растительности и мощности ее корневой системы. Информация о засолении неорошаемых почв, получаемая по снимкам, может резко различаться в зависимости от литолого-гидрогеологических условий (Востокова, 1980), от особенностей строения солевого профиля и т.д. Поэтому для количественной оценки засоления неорошаемых почв выделить общие дешифровочные признаки невозможно, а для орошаемых почв под хлопчатником нами были определены единые дешифровочные признаки для оценки степени засоления метрового слоя почв в любых орошаемых регионах. В зависимости от региональных особенностей они должны корректироваться, но не меняться.

Анализ иностранной литературы по вопросу дистанционной диагностики засоления почв показал, что в настоящее время за рубежом эта проблема активно разрабатывается. Наиболее полная информация приводится в книге Myers (Manual of Remote Sensing, USA, 1983), в которой показаны возможность и перспективность метода дистанционной диагностики засоления почв. Richardson A.I., Gerbermann L.M. и др. (1976) рассмотрели результаты исследований засоления почв на основе многозональной цифровой информации (сканера), установленного на спутниках Ландсат и Скайлаб. Сканер работал в интервале 0,41-12,5 мкм. На основе анализа цифровой информации и сопоставления ее с засолением почв, полученным наземным путем, выводились корреляционные связи

и выявлялся наиболее информативный диапазон съемки. Фотографировалась открытая и покрытая растительностью поверхность. Было установлено, что для открытой поверхности наибольшую информацию дает съемка в двух каналах: 0,46-0,51 и 1,09-1,19 мкм. Для территории, покрытой растительностью, наибольшая информация получена в канале 0,78-0,88 мкм.

Авторы приходят к выводу, что растительность лучше индицирует засоление почвы, чем открытая поверхность. Этот вывод соответствует нашим исследованиям (Панкова, Мазиков, 1975). В то же время авторы рассматриваемой выше работы (1976) предлагают новый подход для установления связи между засолением и данными дистанционной съемки. Они считают, что точность оценки засоления почвы можно повысить, используя одновременно результаты съемки открытой и покрытой растительностью поверхности.

Следует сказать, что оценить засоление почвы по снимкам открытой поверхности (то есть без растительности) в аридных регионах очень сложно из-за слабоконтрастной отражательной способности аридных почв как засоленных, так и незасоленных (Толчельников, 1974; Розанова, Лопухина, 1987; Орлов, Караванова, Панкова, 1991). Работы в этом направлении у нас в стране проводятся пока главным образом в лабораторных условиях по установлению связи между степенью засоления и спектральной отражательной способностью почвы (Виноградов, 1981; Орлов и др., 1982). Этот вопрос подробно анализировался Б.В. Виноградовым. Он установил, что засоленные почвы в оранжево-красной части спектра ($\lambda = 0,6-0,7$ мкм) дают высокий коэффициент яркости. Однако влажность почвы может резко менять величину этого коэффициента и мешать выявлению очагов засоления, то есть

влажность увеличивает отражательную способность почв разного засоления.

В 1979 году в Таиланде были проведены работы по оценке засоления почв на основе материалов Landsat (1:500000) в сочетании с аэрофотоснимками масштаба 1:15000. Было установлено, что особенностью засоленных почв является пространственная изменчивость аккумуляции солей на их поверхности. Это приводит, по мнению исследователей (Sinanuwong S., Michaidisha P., 1980), к неравномерности развития культурной растительности и появлению обнаженных участков - пятен, служащих главным признаком при выделении засоленных территорий. Этот вывод абсолютно точно совпадает с нашими выводами, приведенными выше. Таиландские ученые (1980) выявили ряд факторов, мешающих получать информацию о засолении почв по снимкам. Это неоднородность влажности и гранулометрического состава почв, которая обуславливает различную скорость обсыхания территории, что влияет на фотонизображение. Поэтому особенно важно выбрать наиболее удачный срок исследований.

Одной из основных проблем дистанционного изучения засоления почв является проблема объективности дешифрирования снимков. Эта проблема может решаться только на основе автоматизированного (машинного) анализа изображения (Дейвис и др., 1983). Thompson, Pract (1981) рассматривали опыт машинного анализа снимков Landsat для оценки засоления почв и картирования засоленных территорий. Снимки обрабатывались по программе, созданной в Канадском центре. Наибольший эффект был получен при усилении сигнала контрастности сильного засоления. При этом точность картирования зависела от величины пятен, связанных с

высокой степени засоления почв. Этот вывод полностью согласуется с нашими данными, свидетельствующими о том, что главную информацию о засолении почв несет рисунок фотонизображения и, в частности, размер пятен-выпадов клетчатника (Панкова, Мазиков, 1975; Панкова, Головина и др., 1986).

Нами совместно с сотрудниками Соединенного Королевства проведены исследования по разработке метода наземного дешифрирования снимков для составления карт засоления почв. Их результаты свидетельствуют о возможности и перспективности метода. Однако до сих пор главным производственным методом дешифрирования снимков как в нашей стране, так и за рубежом остается визуальный метод. В частности, в докладе, представленном на конгрессе в Гамбурге (Tharwat Kamel Ghabouga and Luc Daelis, Laboratory for Regional Geography and Landscape Study; State University of Ghent-Belgium, 1986) была рассмотрена методика оценки засоления почв, основанная на визуальном дешифрировании снимков Landsat по пятнистости полей, то есть использован подход к дешифрированию снимков, аналогичный нашему.

Заключая анализ литературы по проблеме дистанционной оценки засоления почв, можно утверждать, что уровень ее разработки в настоящее время у нас в стране и за рубежом примерно одинаков. Круг изучаемых вопросов и результаты исследований довольно близки. Можно считать установленным, что засоленность почв хорошо дешифрируется по материалам аэро- и космической съемки и потому дистанционные методы изучения засоления почв могут и должны использоваться при почвенно-солевых съемках и создании мониторинга засоления почв, в первую очередь орошаемых территорий.

МЕТОД ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАСОЛЕНИЯ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ ХЛОПКОВЫХ ПОЛЕВ

Постановка вопроса

Оценка засоления почв до последнего времени базировалась исключительно на данных химических анализов образцов почв, в которых по тем или иным показателям определялось содержание легкорастворимых солей. Это очень трудоемкий, дорогостоящий метод, не позволяющий получать оперативную информацию о засолении почв, особенно одновременно на большие территории.

Как показал обзор литературы, между фотонизображением аэро- и космических и засоленностью почв существует определенная зависимость, позволяющая разработать метод ее оперативной дистанционной диагностики. Эта задача является основной в дистанционном мониторинге засоления почв. Нане эта задача решалась для орошаемых земель хлопководческой зоны, в первую очередь, для полей хлопчатника. При этом необходимо было получить ответ на два вопроса: во-первых, определить требования к материалам аэрофотосъемки и космической съемки, содержащим необходимую информацию о засолении почв, во-вторых, установить дешифровочные признаки и объем информации, которую можно получить по снимкам.

Экспериментальные исследования проводили главным образом на территории Новой зоны орошения Голодной (НЗО) и Днэзасской степей, общая площадь которых составляет около 600000 га. Разнообразие природной обстановки и хорошая изученность территории, наличие аэро- и

космоснимков разных лет съемки, в том числе материалов специальных аэрофотосъемок, выполненных по нашему заказу, сделало этот объект очень удобным для решения нетодических задач дистанционной диагностики засоления почв. Полученные результаты были проверены и подтверждены в других регионах Средней Азии: на орошаемых землях Каршинской степи, в Каракульском оазисе, Шахрисабзской котловине и т.д.

Для решения сформулированных выше задач и разработки технологии работ по дистанционной диагностике засоления почв для целей мониторинга использовали фотоматериалы разных масштабов: от 1:2000 до 1:50000 и более мелких, включая материалы космической съемки среднего разрешения. На одну и ту же территорию в пределах НЗО Голодной степи и Джизакской степи были получены и частично проанализированы снимки разных лет залетов (1967, 1972, 1975, 1983, 1985, 1986, 1988 гг.).

Анализировали снимки разных сезонов съемки (весна, лето, осень, зима) чтобы ответить на вопрос о наиболее информативном сезоне. Были использованы черно-белые панхроматические и многозональные снимки, полученные с помощью камер МКФ-6 и МСК-4, синтезированные цветные снимки и другие материалы.

Основная задача дешифрирования заключалась в том, чтобы установить связи фотонизображения с засолением почв. Методика работ была традиционной. Визуально-инструментальными методами анализировали фотонизображение на снимках, затем проводили полевое дешифрирование и сбор наземной массивной информации о засолении почв. Наземную информацию собирали методом наперутных и ключевых исследований с учетом почвенно-литолого-геоморфологических

особенностей. Полученные таким образом материалы и послужили основой для решения сформулированных выше задач и разработки метода дистанционной диагностики засоления почв.

Требования к материалам фотосъемки, используемым для оценки засоления почв орошаемых земель Средней Азии

На любых фотоснимках как крупных, так и мелких масштабов легко опознаются орошаемые почвы, прежде всего по рисунку фотонизображения. Староорошаемые почвы выделяются по мелкопестро-клетчатому (ячеистому) неупорядоченному рисунку, орошаемые почвы и особенно почвы, относительно недавно освоенные — по упорядоченному клетчатому рисунку с четкими границами полей, идущими по коллекторам и каналам (рис. 1).

Орошаемые почвы очень разнообразны по своим показателям. В Средней Азии в орошаемом земледелии возделываются различные типы аридных почв: как исходно гидроморфные (лугово-болотные, луговые, солончаки), так и автоморфные (сероземы, серо-бурые, тапировидные и др.). В ходе орошения разница между этими почвами постепенно нивелируется, но все же на большинстве почвенных карт при выделении орошаемых почв указывается либо исходный тип почв, либо современное их состояние, связанное чаще всего с гидроморфизмом и засолением. Следует указать, что определить генетическую принадлежность почв по снимкам чаще всего можно только по косвенным признакам. Оценить степень гидроморфности и засоленности иногда удается на основе прямых дешифровочных признаков, но при этом необходимо использовать только строго определенные снимки. Так, по фотонизображению на черно-белых отпечатках многозональных снимков красной зоны (0,6–0,7 мкм), а также по панхроматическим снимкам разделить орошаемые почвы по степени гидроморфности не удастся. Однако это можно сделать, используя снимки инфракрасной зоны (0,8–1,1 мкм), либо цветные



Рис. 1. Фрагмент неконсультационного космического снимка на территории Холодной степи Узбекистана. Четко различимы новоорошаемые (А), староорошаемые (Б), оогарные (В) земли, пастбища (Г), водная поверхность (Д), горы (Е)

синтезированные многозональные или спектрально-зональные снимки, на которых выделяются более и менее увлажненные почвы.

Анализ проведенных в наведенном распоряжении материалов позволил установить, что не все снимки одинаково информативны и для характеристики засоления почв, а следовательно, не все снимки можно использовать для дистанционной диагностики засоления почв.

Выбор достаточно информативного материала дистанционного зондирования для оценки засоления почв является первоочередной задачей при создании мониторинга засоления почв.

Сроки проведения фотосъемки

Для решения вопроса о выборе оптимального срока съемки сопоставлялось фотонизображение полей хлопчатника на снимках весеннего, летнего, осеннего и зимнего сезонов съемки с засоленностью почв, оцененной по аналитическим данным. Анализ фотонизображения показал, что снимки разных сезонов аэрофотосъемки на одну и ту же территорию имеют разное фотонизображение. На рис.2 в качестве иллюстрации приведены снимки одного и того же поля двух сроков съемки — весны и осени. На весеннем снимке поле выглядит абсолютно однородным и имеет светлый тон. Судя по этому снимку, можно также предположить, во-первых, что данная территория характеризуется одинаковыми свойствами почвы и, в частности, засоленности; во-вторых, что снимок весеннего срока съемки не информативен для оценки засоления почв. Правильность второго вывода подтверждается материалами осенней аэрофотосъемки. На осеннем снимке отчетливо выражены

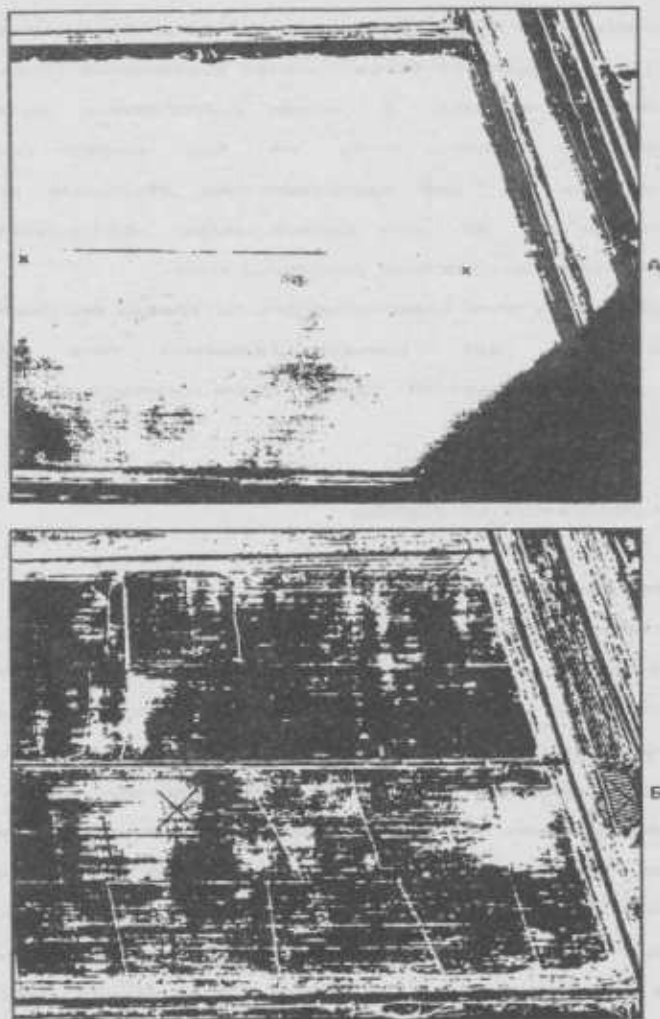


Рис. 2. Аэрофотоснимки весенних (А) и позднелетних (Б) сроков съемки:

А - съемка 13.04.85г. Снимок №2 пригоден для оценки засоления почвы, так как дешифрируется только белесый тон открытой поверхности почвы;

Б - съемка 23.08.85. Снимок содержит обширную информацию о засолении почвы, белые пятна отражают выпадения хлопчатника вследствие повышенного засоления почв. Срок съемки оптимален для целей мониторинга

пятна-выпады хлопчатника. При наземном обследовании была определена засоленность почв этих неоднородных по фотонизображению контуров и было показано, что фотонизображение на осенних снимках определялось засолением почв, проявлявшимся через состояние хлопчатника.

Однородность фотонизображения на весеннем снимке обусловлена особенностями спектральной отражательной способности аридных почв. По данным экспериментальных исследований (Толчельников, 1974; Орлов и др., 1982; Розанова, Лопукина, 1988; Орлов, Караванова и др., 1991), спектральная отражательная способность разных типов почв аридной зоны близка между собой и не зависит от их засоленности. Исключение составляет лишь солончаки с яркой солевой коркой. Значительно сильнее, чем засоление, влияет на отражательную способность аридных почв их влажность. Поливы маскируют пятна-выпады хлопчатника даже на позднелетних снимках.

Черный (тенно-серый) тон на снимках весенних сроков съемки соответствует либо сильноувлажной поверхности почвы, либо полю, занятому другой культурой, например, люцерной второго года возделывания (рис.3). На снимках осенних сроков съемки наблюдается обратная картина - люцерна скошена и поверхность поля светлая, хлопчатник же дает темное фотонизображение. Сопоставление фотонизображения одного и того же поля, занятого хлопчатником, позволило установить, что на снимках зимнего сезона съемки так же, как на весенних и раннелетних снимках, пятнистость полей, связанная с засолением, практически не отражается. На летних снимках пятнистость полей четко видна. Однако неравномерность увлажнения почв, связанная с поливом, часто

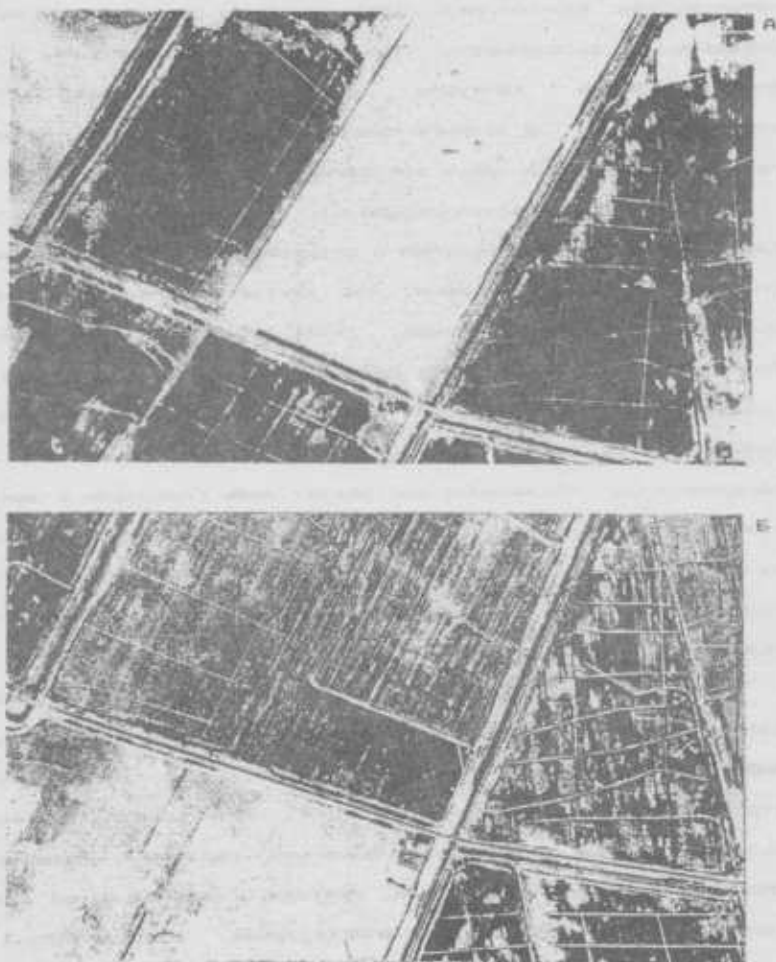


Рис. 3. Дешифрирование по аэрофотоснимкам состояния кормовых культур.

А - снимок весеннего срока съемки. Поле темного тона соответствует кормовой культуре (люцерне); пятна на нем - выпад;

Б - снимок осеннего срока съемки того же года; на большей части территории кормовые культуры скошены. Оценить засоление почв этих полей по снимкам нельзя

осложняет деинфирование. Поэтому для оценки засоления почвы наиболее целесообразно использовать материалы аэросъемки, сделанной только в короткий отрезок времени: после прекращения поливов и до начала дефолиации. Это, примерно, соответствует периоду с 20 августа по 10 сентября. В этот период биомасса и проективное покрытие хлопчатника максималны. В зависимости от погодных условий и климатических особенностей района, этот интервал может несколько сдвигаться. Если оценка засоления почвы проводится по снимкам более раннего срока съемки, то возможно завышение значений засоления, так как проективное покрытие не достигло максимума и на снимке отмечается более светлый тон.

Снимки весенних, раннелетних, позднесенних и зимних сроков съемки практически не пригодны для оценки по ним засоления почвы полей хлопчатника. В то же время по снимкам весенних и летних сроков съемки можно получить полезную дополнительную информацию о состоянии полей, занятых другими культурами (люцерной, кукурузой и т.д.).

Анализ связи фотоизображения на снимках разных сезонов с состоянием поля хлопчатника и засоленностью почвы позволил сделать и еще один определяющий вывод: оценить засоленность почвы орошаемых территорий аридной зоны можно только через состояние культуры, то есть по косвенному признаку. Прямое определение засоленности почвы по их спектральной отражательной способности невозможно. Это и определяет строгие требования к сезону съемки.

Полевые работы для обоснования контуров, выделенных по снимкам, должны проводиться в тот же год и сезон, что и съемка. Это связано с высокой динамичностью засоления

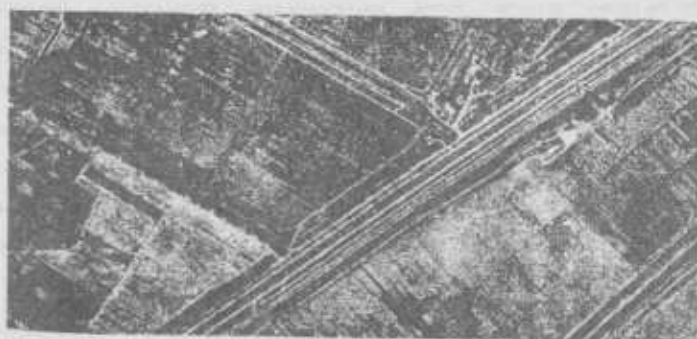
орошаемых почв (годовой и сезонной). Подробнее этот вопрос будет рассмотрен ниже. Севообороты, то есть смена сельскохозяйственных культур на исследуемой территории, также делают практически невозможным проведение полевых работ по снимкам прошлых лет.

Мы понимаем, что оперативное получение аэрофотоснимков связано с серьезными организационными трудностями, однако настаиваем на соблюдении перечисленных выше требований. В качестве исключения на землях длительных сроков орошения допускается проведение полевых работ с использованием снимков прошлого года, однако точность составленной карты при этом может существенно снизиться.

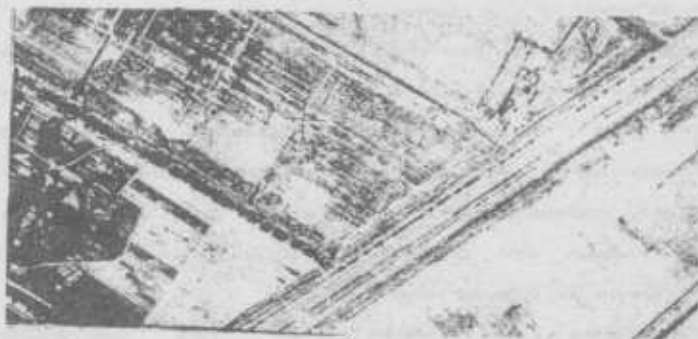
Типы съемки

В настоящее время для нужд сельского хозяйства используются аэрофотоснимки нескольких типов: черно-белые панхроматические, спектрзональные, цветные, многозональные и синтезированные из многозональных. Кроме того, выполняются телевизионные, сканерные, тепловые и другие специальные съемки. Информативность этих материалов оценивалась нами на качественном уровне по возможности устойчивого выделения объектов при визуальном-инструментальном дешифрировании.

Сопоставление фоток изображений разных типов съемки, выполненных одновременно, позволило прийти к выводу, что основная часть снимков несет близкую информацию. Наибольшую информативность имеют снимки, синтезированные из многозональных (рис. 4). Информативность в этих случаях, однако, сильно зависит от качества синтеза, что является



А



Б



В

Рис. 4. Многозональные снимки (03.09.85; м. 1:10000; камера МКФ-6);

А - зеленая зона, второй канал камеры, 0,5-0,6 мкм;

Б - красная зона, четвертый канал, 0,65-0,70 мкм;

В - ближняя инфракрасная зона, шестой канал, 0,8-1,1 мкм

недостаток этого типа материалов. При использовании для оценки засоления многозональной съемки основную информацию дают снимки красной зоны (0,65–0,70 мкм), снимки ближней инфракрасной зоны (0,8–1,1 мкм) могут использоваться лишь для получения дополнительной информации об увлажненности почв. При визуальном дешифрировании для оценки засоленности почв они оказались менее информативными, чем снимки красной зоны.

Черно-белые панхроматические снимки близки по информативности к снимкам красной зоны спектра. Есть основание считать эти снимки достаточно информативными для оценки и картографирования засоления почв. Панхроматические снимки в настоящее время широко используются в производственных целях, они наиболее дешевый и доступный материал аэрофотосъемки, пригодный для оценки засоления почв. Именно эти снимки мы рекомендуем использовать для мониторинга засоления почв.

Фотосъемка не единственный тип дистанционного зондирования, однако иные типы – телевизионная, радиолокационная, СВЧ и другие – не получили до сих пор широкого распространения в производстве и используются главным образом в исследовательских целях.

Сканерная аэросъемка пока мало используется почвоведом, однако в силу ряда причин считается необходимым остановиться на ней особо.

Использование сканерной съемки при мониторинге засоления почв

Сканерная съемка – новый тип дистанционного

зондирования, принципиально отличающийся от фотосъемки. В нашей стране сканерная съемка не получила еще широкого распространения, однако целый ряд преимуществ перед фотографической позволяет считать ее перспективной для дистанционного зондирования природных объектов и слежения за их динамикой, в том числе и для мониторинга засоления почв.

Принципиально сканерная съемка заключается в следующем. С самолета (или другого носителя) узким лучом производится непрерывное сканирование поверхности земли. Отраженный сигнал записывается на магнитную ленту. Обработка сканерной информации может производиться ЗВМ непосредственно с магнитной ленты или после предварительной обработки и отображения на дисплее с участием человека. Сканерная съемка более оперативна, чем фотографическая (она может передаваться на землю непосредственно во время съемки), метрична, не требует серебросодержащих материалов, что в дальнейшем, видимо, сделает ее значительно дешевле фотосъемки.

Мы провели анализ информативности материалов, полученных сканером ММС "Матра" в пяти спектральных зонах (ВНИИ "АИУС-АГРОРЕСУРС"). Результаты этого анализа представлены на рисунке 5 и в таблице 1.

Работа со сканерным изображением имеет свои достоинства и недостатки. Сканерная съемка дает возможность получить количественную информацию о яркости каждой точки исследуемой территории в нескольких (в нашем случае в пяти) зонах спектра. Эта информация может быть оцифрована (рис. 5), что позволяет точно разделить дешифрируемые объекты по яркости.

Таблица 1. Дешерированность объектов на сканерных снимках.

Объект наблюдений	Зона спектра				
	Зеленый	Красный-БИК	Тепловой	Красный	БИК
	Канал				
	1	2	3	4	5
Длина волны, мкм					
	0,540-	0,708-	10,52-	0,636-	0,840-
	0,560	0,721	12,39	0,670	0,881
Яркость по каналам в условных единицах					
Хорошее состояние кнопчатника	75 - 80	125-140	50 - 65	60 - 70	155-175
Удовлетворительное состояние кнопчат- ника	83 - 100	Не дешер.	70 - 100	70 - 100	115-145
Выпады (сухие) Выночка	120 - 145 Не дешер.	" 79-83	105 - 130 50 - 54	111 - 140 Не дешер.	83-104 65-73
Дорога	120 - 135	Не дешер.	110 - 120	110 - 130	95-104

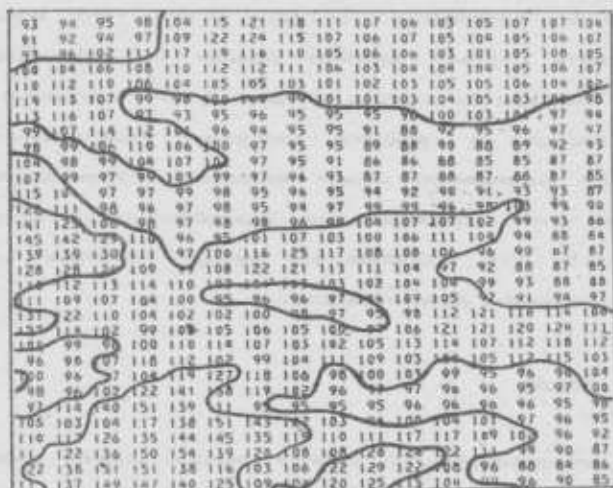


Рис.5. Результат обработки сканерной информации. Фрагмент оцифрованного сканерного изображения поля хлопчатника свидетельствует о неоднородности поля

У используемого сканера разрешение на местности значительно ниже (примерно 40 м и 20 м при съемке с высоты 10 км и 5 км), чем при аэрофотосъемке с таких же высот, поэтому привязку и предварительное дешифрирование объектов приходилось проводить по фотоснимкам. Работы показали принципиальную возможность использования сканерной съемки для оценки и картографирования засоления почв.

Информативность различных каналов сканерной съемки аналогична многозональной фотосъемке (рис.4). Основную информацию, необходимую для дешифрирования, дают четвертый (красный) и пятый (ближний инфракрасный) каналы. Четвертый канал может быть заменен первым (с небольшой потерей

информации).

Низкое разрешение сканера этого типа позволяет дешифровать только крупные выпадки и, соответственно, выделять контуры сильного и очень сильного засоления почв. Контуры слабого и среднего засоления генерализуются и проявляются изменением общей яркости контуров аналогично тону, как это происходит на аэрофотоснимках масштабов мельче 1:50 000. Обоснование выбора масштаба снимков посвящен следующий раздел работы.

Масштаб съемки

Нами анализировались снимки одного срока съемки в масштабах от 1:100000 до 1:2000. Их сопоставление показало, что наиболее полную информацию о засолении почв можно получить по снимкам масштаба 1:10000. Это могут быть как контактные отпечатки, так и снимки, полученные путем увеличения в 2-5 раз (в зависимости от типа и качества съемки). При этом информация, касающаяся засоления, не теряется (рис. 6). В масштабе 1:10000 хлопчатник, находящийся в хорошем состоянии, отражается на черно-белом панхроматическом фотоснимке или снимке красной зоны спектра контурами однородного темного тона; поверхность, лишенная растительности — белым тоном. При более мелком масштабе (1:25000 — 1:50000 и т.д.) на снимках происходит фотогенерализация пятен-выпадов диаметром 5-10 м (рис. 7) и часть информации теряется. На снимках более крупных масштабов выделяются отдельные растения и борозды, то есть появляется избыточная информация, мешающая дешифрированию. Таким образом, сопоставление информативности снимков

Рис. 6. Аэрофотоснимок
поля хлопчатника:

А - контактный отпечаток
с негатива масштаба
1:80000 (камера МКФ-4);

Б - отпечаток с того же
негатива в масштабе
1:10000. Качество изобра-
жения не ухудшилось

А



Б





1 : 50 000



1 : 25 000



1 : 10 000



1 : 5 000



1 : 2 000

Рис. 7. Сравнение информативности аэрофотоснимков различных масштабов. Наиболее информативны аэрофотоснимки масштаба 1:10000

масштабов 1:10000, 1:25000, 1:50000 и более мелкого по количеству выделяемых контуров показало, что для характеристики засоления почв наиболее информативны снимки масштаба 1:10000. На них отчетливо видна внутренняя структура (содержание) фотоконтуров, отражающая неоднородность (пятнистость) засоленных почв. Размер пятен, визуальнo видимых на снимках этого масштаба, соответствует на местности площадям, измеряемым в квадратных метрах (от 0,01 га до 0,2 га). На снимках более мелкого масштаба, например, 1:50000, отчетливо различимы лишь более крупные пятна (0,2 - 1 га). Таким образом, выигрыш в обзорности снимков мелкого масштаба приводит к некоторой потере информации за счет фотогенерализации мелких контуров. Следовательно, используя снимки мелких масштабов при визуальном дешифрировании, можно потерять значительную часть информации о засолении почв. Поэтому при организации регионального или локального мониторинга засоления почв для определения площадей засоленных земель необходимо использовать снимки масштаба 1:10000.

Приведенные выше материалы позволили констатировать, что для диагностики засоления почв по фотоизображению должны быть использованы снимки, отвечающие определенным требованиям:

- они должны соответствовать году, для которого требуется получить информацию о засолении почв;
- они должны соответствовать раннеосеннему сезону съемки (периоду созревания хлопчатника);
- это должны быть черно-белые панхроматические снимки, либо снимки красной зоны или синтезированные многозональные снимки;

— масштаб снимка определяет объем получаемой информации о засолении почв; для количественного учета площадей засоленных почв необходимы снимки масштаба 1:10000.

Рассмотренные ниже дешифровочные признаки засоления почв определялись для снимков, отвечающих указанным выше требованиям.

Дешифровочные признаки засоления почв хлопковых полей

"На почвах, подверженных засолению, всегда наблюдается пятнистость полей с неравномерной густотой стояния и различным развитием растений".

В.М. Легостаев (1959)

Возможность оценки засоления почв хлопковых полей Средней Азии по аэрофотоснимкам впервые была установлена П.А. Керзун и Г.Г. Зенаном (1967). Позже этому вопросу большое внимание было уделено в наших работах (Панкова, Мазиков, 1975, 1976). В 1985г. была опубликована методика дистанционной диагностики и картографирования засоленных орошаемых почв (Панкова, Мазиков, 1985). К этому времени было накоплено значительное количество экспериментальных данных, подтверждающих наличие четкой корреляционной зависимости между фотонизображением и засолением почв. Ниже мы рассмотрим имеющиеся в нашем распоряжении экспериментальные материалы, обосновывающие дешифровочные признаки засоления орошаемых почв. Фактические данные, устанавливающие связь фотонизображения и засоления, были собраны нами на орошаемых землях Новой зоны освоения (НЗО) Голодной степи, а также на территории Джизакской, Каршинской степей и Каракульского оазиса.

Дешифровочные признаки засоления орошаемых почв устанавливались нами по фотонизображению культуры хлопчатника на черно-белых панхронатических снимках раннеосенних сроков фотосъемки в масштабе 1:10000.

Дополнительно оценивались дешифровочные признаки по снимкам масштаба 1:50000 и более мелкого. На массовом аналитическом материале выделялась связь фотоизображения, отражающего состояние хлопчатника, со степенью засоления почв в слоях 0-25 см, 0-50 см, 0-100 см и глубже. Таким образом устанавливали дешифровочные признаки, на основе которых по фотоснимкам можно оценить засоление почв.

Поверхность поля, покрытого хлопчатником, на снимках осенней съемки отображается однородным темно-серым тоном, участки без хлопчатника — светлым тоном. Различное сочетание участков темных и светлых тонов отражает пятнистое состояние полей хлопчатника и характеризует неоднородные по фотоизображению контуры (рис.8).

Фотоизображение полей хлопчатника дешифрируется по двум показателям: тону и рисунку. Визуально на черно-белых снимках безошибочно выделяются два тона: темный и светлый. В ряде случаев можно выделить и переходные тона, но при визуальном дешифрировании выделить их трудно в связи с субъективным восприятием тона, а также в связи с разной контрастностью отпечатков. Рисунок фотоизображения определяется участием темных и светлых пятен, их конфигурацией и размером. По рисунку фотоизображения поля хлопчатника делятся на однородные и неоднородные. Однородные — это контуры с однотонным (темным или светлым) фотоизображением, которые масштаб снимков позволяет выделять в качестве самостоятельных. Неоднородные — это контуры, состоящие из пятен разного фототона, которые не могут быть выделены в виде самостоятельных на снимках соответствующего масштаба и поэтому выделяются как сложные, комплексные. Рисунок фотоизображения неоднородных контуров

Дополнительно оценивались дешифровочные признаки по снимкам масштаба 1:50000 и более мелкого. На массовом аналитическом материале выявлялась связь фотонизображения, отражающего состояние хлопчатника, со степенью засоления почв в слоях 0-25 см, 0-50 см, 0-100 см и глубже. Таким образом устанавливали дешифровочные признаки, на основе которых по фотоснимкам можно оценить засоление почв.

Поверхность поля, покрытого хлопчатником, на снимках осенней съемки отображается однородным темно-серым тоном, участки без хлопчатника — светлым тоном. Различное сочетание участков темных и светлых тонов отражает пятнистое состояние полей хлопчатника и характеризует неоднородные по фотонизображению контуры (рис. В).

Фотонизображение полей хлопчатника дешифрируется по двум показателям: тону и рисунку. Визуально на черно-белых снимках безошибочно выделяется два тона: темный и светлый. В ряде случаев можно выделить и переходные тона, но при визуальном дешифрировании выделить их трудно в связи с субъективным восприятием тона, а также в связи с разной контрастностью отпечатков. Рисунок фотонизображения определяется участием темных и светлых пятен, их конфигурацией и размером. По рисунку фотонизображения поля хлопчатника делятся на однородные и неоднородные. Однородные — это контуры с однотонным (темным или светлым) фотонизображением, которые масштаб снимков позволяет выделять в качестве самостоятельных. Неоднородные — это контуры, состоящие из пятен разного фототона, которые не могут быть выделены в виде самостоятельных на снимках соответствующего масштаба и потому выделяются как сложные, комплексные. Рисунок фотонизображения неоднородных контуров

определяется процентом участия темных и светлых пятен, их размером и конфигурацией.

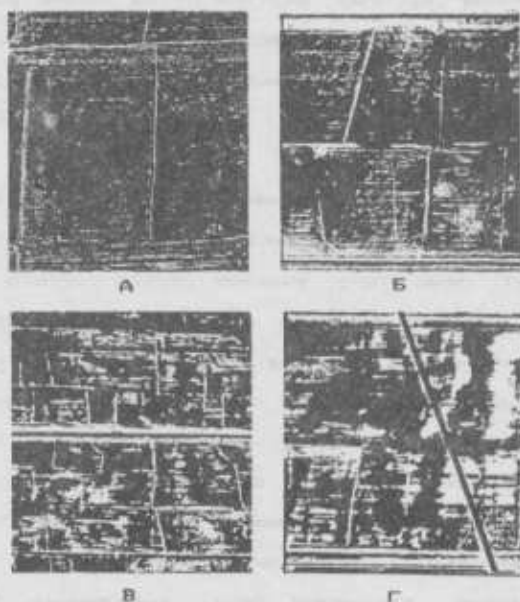


Рис. 8. Фотоизображение полей хлопчатника на черно-белых панхроматических крупномасштабных аэрофотоснимках осеннего срока залета:

А — без пятнистости;

Б — мелкопятнистое (пунктирное, размер большинства пятен менее 0,2 га);

В — среднепятнистое (размер пятен 0,2 — 1,0 га);

Г — крупнопятнистое (пятна более 1,0 га).

В зависимости от размера преобладающих в контуре пятен неоднородные контуры на снимках масштаба 1:10000 делятся на: а) мелкопятнистые (мелкокрапчатые, пунктирно-пятнистые)

- диаметр пятен около 1 мм; б) пятнистые - диаметр пятен 2-5 мм; в) крупнопятнистые - диаметр пятен 5-10 мм. При этом единичные крупные светлые пятна (диаметром 5-10 мм) могут выделяться и в качестве отдельных самостоятельных однородных контуров на снимках масштаба 1:10000. Пятна диаметром больше 10 мм обязательно выделяются в самостоятельные контуры.

По процентному отношению темных и светлых пятен неоднородные контуры делятся на: а) слабопятнистые (преобладает один тон; участие пятен другого тона менее 20%); б) среднепятнистые (участие пятен 20-40%); в) равномерно-пятнистые (пятна разных тонов составляет, примерно, одинаковый процент - 40-60% площади контура).

Такой подход к анализу фотоизображения черно-белых панхроматических снимков был использован нами для установления связи между засолением почв и фотоизображением. Приведен некоторые материалы, характеризующие засоление почв, выделенных по снимкам фотоконтуров. Данные для характеристики засоления почв собирали по скважинам, точно привязанным к фотоизображению по фототону и рисунку. В контурах с неоднородным пятнистым рисунком скважины располагались точно в соответствующем пятне - светлом или темном - и фиксировались на снимках.

По данным, полученным на ключевых участках, расположенных на территории Новой зоны орошения Голодной степи, было установлено, что почвы темных однородных по фотоизображению контуров в слоях 0-25 см, 0-50 см и 0-100 см характеризуются низким содержанием солей и относятся к незасоленным. При этом нижележащие слои могут отличаться различным засолением: как низким (участки 5 н, 6 н), так и

очень низким (участок В н) (рис.9). Отсюда следует, что для

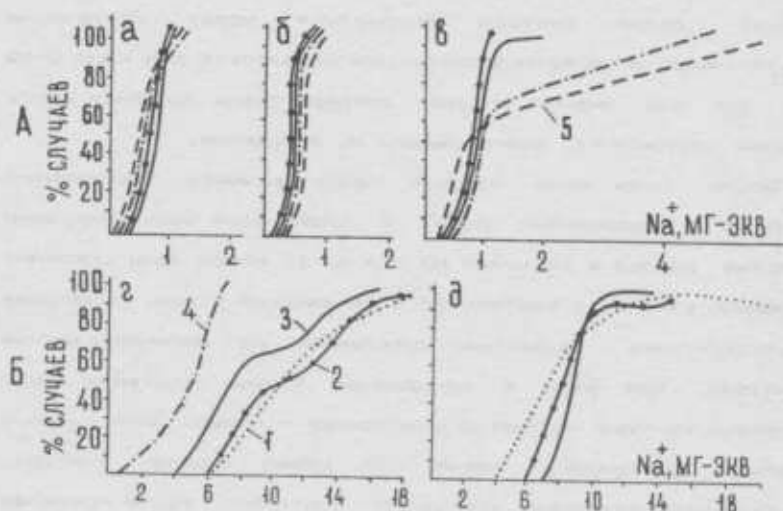


Рис.9. Характеристика засоления почв однородных (однотонных) по фотонизображению темных (А) и светлых (Б) контуров по слоям: 1 - 0-25см; 2 - 0-50см; 3 - 0-100см; 4 - 100-200см; 5 - 200-300см. Участки: а - 5м; б - 6м; в - 8м; г - 29м; д - 30м

территории Голодной степи фотонизображение коррелирует с засолением слоя почвы 0-100 см. Это подтверждается также и данными по светлым однородным контурам (участок 29 м и 30 м) (рис.9). Как показал анализ засоления почв светлых фотоконтуров, почвы этих контуров в слое 0-100 см преимущественно сильно засолены, хотя в слое 100-200 см их засоленность может сильно варьировать и даже быть слабой (участок 29 м). Следует указать еще на одну особенность

засоления почв светлых контуров: засоленность почв в слоях 0-50 см и 0-100 см может существенно различаться. В этом случае более жесткая корреляция между состоянием растительности и фотонизображением выявляется для слоя 0-50 см, так как именно в нем сосредоточена основная масса корней хлопчатника, реагирующего на засоление.

Особое внимание была изучена связь размера однотонного контура с засолением почв. С этой целью были проведены полевые работы в совхозах No 6 и No 10 Новой зоны орошения Голодной степи и в совхозе No 4 Джизакской степи. Была дана характеристика засоления выделенных по фотонизображению контуров. При этом к однородным темным контурам были отнесены контуры абсолютно однотонные - серые, либо с белым крапом, занимавшим менее 5% общей площади контура. Однородными светлыми контурами считались те, в пределах которых темные мелкие пятна занимали площадь менее 20%. Сопоставлялось засоление почв разных по размеру контуров: сравнивалось засоление почв темных контуров, составляющих на местности более 9 га (3 см^2 на снимке масштаба 1:10000); 1-9 га ($1-3 \text{ см}^2$) и менее 1 га (1 см^2), размеры однородных контуров светлого тона составляли, соответственно, больше 1 га, 0,25-1 га и меньше 0,25 га, что на снимках соответствовало 1 см^2 , $1-0,15 \text{ см}^2$ и меньше $0,25 \text{ см}^2$. Всего на территории исследуемых совхозов по фотонизображению было выделено восемь классов фотоконтуров, из которых шесть характеризовались однородным фотонизображением и три - неоднородным. Каждый класс фотоконтуров получил характеристику засоленности почв на основе наземных исследований и аналитических данных.

По результатам полевых работ для каждого хозяйства

составлены индикационные таблицы (табл. 2), характеризующие распределение засоления почв каждого класса фотоконтуров, выделенных на стадии предполетного дешифрирования. Сравнение аналитических данных по каждому хозяйству показало, что количественно засоление почв каждого выделенного в них типа фотонизображения несколько различается. Это обусловлено особенностями почвенно-мелиоративных районов, в которых расположены совхозы. Совхоз № 10 расположен на исходно наиболее благополучной в мелиоративном отношении территории. Засоление земель здесь носит вторичный характер, поэтому засоление фоновых почв (I и II типы) более низкое, чем в других совхозах. Совхоз № 4, наоборот, расположен на исходно сильнозасоленных и гипсоносных землях. Фоновое засоление здесь значительно выше, чем в совхозе № 10. Однако общие закономерности связи засоления — фотонизображения здесь те же, что и в совхозе № 10. Почвы совхоза № 6 занимают промежуточное положение по исходному засолению, что соответствует их территориальному расположению и мелиоративным особенностям.

Исследования по выявлению связи фотонизображения с засолением показали, что хотя количественно эти связи при переходе от одного почвенно-мелиоративного района к другому могут несколько варьировать, общие принципы дешифрирования засоления почв под хлопчатником по аэрофотоснимкам универсальны. При этом была установлена следующая закономерность.

Почвы темных однотонных контуров размером крупнее 9 га (с мелкой пунктирной пятнистостью, составляющей не менее 5% площади) характеризуются преобладанием незасоленных почв (более 50%) при участии слабозасоленных, доля которых может

варьировать в зависимости от мелiorативных особенностей территории. Темные однотонные контуры (с пунктирным белым крапом не менее 5%) размером 1-9 га характеризуются сочетанием незасоленных и слабозасоленных почв. Причем участие тех и других почв может существенно варьировать. Если темные однотонные контуры имеют размеры не менее 1 га (не менее 1 см² на снимке), то засоленность почв в них оказывается слабой, в контуре присутствуют незасоленные и средnezасоленные почвы, т.е. в таком случае дешифровочный показатель оказывается более неустойчивым. Поэтому темные пятна размером не менее 1 см на снимке не следует выделять в качестве однородных по засолению почв контуров, а целесообразно всегда относить к комплексным.

Белые однородные по фототону контуры, если они имели темный крап (не менее 20% площади), мы также попытались сгруппировать по размеру: крупнее 1 га (площадь на снимке более 1 см²), 0,25-1 га (0,25-1 см²) и меньше 0,25 га ($d < 0,25$ см²). При этом была выявлена следующая закономерность. Контуры светлого фототона (лишенные хлопчатника) размером крупнее 1 га отличаются преимущественно сильным или очень сильным засолением метрового слоя почвы. Если площадь белых пятен равна 0,251 га, то засоление почв в слое 0-100 см может варьировать от среднего до сильного, но преимущественно с преобладанием сильного. Если контуры светлого тона фотозображения имеют размер не менее 0,25 га, то засоленность почв в слое 0-100 см может варьировать от средней степени до очень сильной, т.е. является неустойчивым показателем. Таким образом, устойчивое высокое засоление почв в слое 0-100 см проявляется в почвах контуров светлого фототона размером

более 0,25 см² на снимках масштаба 1:100000. Такие контуры и выделялись нами в качестве одностонних светлых, характеризующих преимущественно высокие засоления почв (табл. 2).

Изучение почв неоднородных по фотоизображениям контуров показало, что эти почвы неоднородны и по засолению. При этом степень засоления почв темных по фототону компонентов неоднородных контуров всегда ниже, чем светлых (рис. 10). Это определяет необходимость при характеристике засоления комплексных (неоднородных) контуров отдельно характеризовать почвы светлых и темных пятен и их процентное соотношение; среднее далеко не всегда отражает истинное засоление почв неоднородных по фотоизображению контуров. Проиллюстрируем установленные выше закономерности конкретными материалами, полученными на территории Голодной и Каршинской степей (табл. 3). На аэрофотоснимках этих территорий произведено дешифрирование засоленности почв под хлопчатником. В результате полевых работ почвы каждого выделенного фотоконтура получили аналитическую характеристику засоленности в слое 0-100 см. Было установлено, что почвы фотоконтура (№ 1, табл. 3) с нелкой пунстирной пятнистостью - крапом, занимавший 10-40% площади, оказались преимущественно слабозасоленными. При этом на участках под хлопчатником преобладали почвы слабозасоленные и незасоленные; на пятнах-выпадах почвы были преимущественно слабо- или среднезасоленными. Контуры с равномерной нелкой (пунстирной) пятнистостью (№ 3) (диаметр пятен не менее 1 мм) отличались преимущественно слабым и средним засолением почв. При этом под хлопчатником преобладали слабо- и среднезасоленные почвы,

Таблица 3. Сравнение связи фотизображения с засолением метрового слоя почвы в Голодной и Кереминской степях

№	Характеристика фотозображения контура	Голодная степь						Кереминская степь					
		Распределение выработок по степени засолению, Мг, мг-экв/100 г почвы в слое 0-100 см						Распределение выработок по степени засолению, Мг, мг-экв/100 г почвы в слое 0-100 см					
		Итого						Итого					
		(1 : 1-2 : 2-6 : 6-12 : >12)						(1 : 1-2 : 2-6 : 6-12 : >12)					
1.	Очерковый тусклый (слабый) во многих случаях пунктирные пятна (10 %):	99	70	29	-	-	-	31	22	9	-	-	-
		100	71	29				100	71	29			
	закосы в тонком фоне	-	-	-	-	-	-	28	19	9	-	-	-
								100	68	32			
	закосы в пятнах	-	-	-	-	-	-	5	3	-	-	-	-
								100	100				
2.	Резкопятнистый (очень - сильный) количество пунктирных светлых пятен 10-40 %:	96	29	26	33	-	-	34	14	12	7	1	-
		100	26	40	54			100	41	35	21	3	
	закосы в тонком фоне	76	29	35	18	-	-	51	14	19	7	-	-
		100	32	45	23			100	45	32	23		
	закосы в пятнах	18	-	5	13	-	-	3	-	2	1	-	-
		100		17	63			100		67	33		
3.	Немалопятнистый (плотность разномерных светлых пятен 40-60 %, в < 1 мм):	61	7	13	19	2	-	9	2	4	1	-	-
		100	17	52	46	5		100	22	43	33		
	закосы в тонком фоне	30	7	11	12	-	-	4	2	2	-	-	-
		100	23	37	40			100	50	50			
	закосы в светлых пятнах	11	-	2	7	2	-	5	-	2	3	-	-
		100		18	64	18		100		40	60		
4.	Пятнистый (плотность разномерных пятен 60-80 %, в 1-5 мм):	40	-	3	27	10	-	16	-	2	7	6	1
		100		7	68	25		100		13	44	36	7
	закосы в тонком фоне	19	-	1	17	1	-	7	-	2	4	1	-
		100		5	90	5		100		29	57	14	
	закосы в светлых пятнах	21	-	2	10	5	-	9	-	-	3	5	1
		100		10	48	42		100		33	56	11	
5.	Очерковый светлый тон (тонкие пятна < 10 %):	63	-	-	24	17	2	52	-	-	2	19	11
		100			56	40	4	100			6	60	34
	закосы в тонком фоне	7	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-
		100			100								
	закосы на светлом фоне	36	-	-	17	17	2	-	-	-	-	-	-
		100			47	47	6						

Примечание. Числитель — число связей соответствующего засоления, знаменатель — % этих связей от общей выборки, характеризующей соответствующее фотозображение.

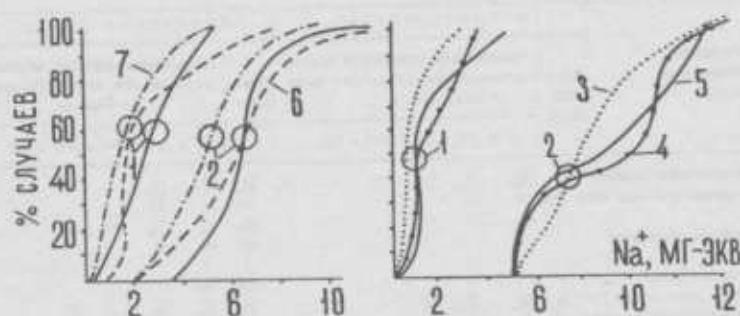


Рис. 10. Характеристика засоления почв неоднородных по фото-изображению контуров: 1 - тенные компоненты контуров; 2 - светлые.

Слой, см: 3 - 0-25; 4 - 0-50; 5 - 0-100; 6 - 100-200; 7 - 200-300

Таким образом, подтверждается установленная ранее закономерность: увеличение процентного участия пятен-выпадов в контуре свидетельствует об усилении засоления почв как в целом по контуру, так и в его компонентах, отраженных на снимках светлыми и тенными пятнами. На территории Голодной и Карвинской степей были выделены неоднородные пятнистые контуры, в которых размер пятен-выпадов превышал 1 м и равнялся, примерно, 2-5 м в диаметре, а площадь пятен составляла около 40-60% площади контура. Анализ засоления почв показал следующее. Почвы, отображенные на снимке тенным фототонном, преимущественно среднезасоленные; более пятнами-выпадами - в 90% случаев

средне- и сильнозасоленные, при этом сильнозасоленные почвы составляли более 40%. При том же процентном участии светлых пятен (40-60%), но в случае, когда пятнистость была мелкая (пунктирная), сильнозасоленные почвы в пределах этих пятен составили около 20%. Следовательно, не только процент участия пятен-выпадов определяет общую засоленность территории, но и размер пятен. Чем больше размер пятен-выпадов в пределах комплексного контура, тем выше засоленность почв контура в целом. Установленные закономерности оказались едиными для Каршинской, Голодной и Джизакской степей, где преобладают полугидроморфные почвы, следовательно, дешифровочные признаки для оценки засоления почв этих территорий могут быть едиными.

Несколько особняком стоит территория Каракульского оазиса. Этот район древнего орошения, в отличие от рассмотренных выше, характеризуется почвами лугового ряда с чрезвычайно активной сезонной и многолетней динамикой засоления, обусловленной близостью к поверхности залегания грунтовых вод. Сопоставление фотоизображения с засолением почв Каракульского оазиса выявило более четкую связь для слоя 0-50 см, а не для слоя 0-100 см.

Следовательно, по фотоизображению можно с достаточно высокой степенью надежности оценить засоленность в слое 0-100 см в орошаемых почвах полугидроморфного и полуавтоморфного рядов; для почв гидроморфного ряда более четкая корреляция отмечается для слоя 0-50 см, но в том и другом случае связь фотоизображения с засолением нетрового слоя почв проявляется достаточно четко. Это позволило нам установить единые дешифровочные признаки засоления почв хлопковых полей Средней Азии (табл. 4). Установленные

дешифровочные признаки предназначены для оценки степени засоления почв по черно-белым панхроматическим снимкам масштаба 1:10000 осенних сроков съемки и не могут механически переноситься на другие снимки и, в частности, на снимки других масштабов. Сопоставив фотонизображение снимков масштабов 1:10000; 1:25000; 1:50000 и 1:100000, мы обнаружили, что пятна-выпады размером около 1 га видны на всех этих снимках, но мелкая пунтирная пятнистость и даже средняя пятнистость на снимках масштаба мельче 1:10000 - 1:25000 исчезает за счет фотогенерализации. Поэтому по снимкам масштаба 1:50000 уверенно визуальное дешифрование можно лишь три степени засоления: 1) преимущественно незасоленные и слабозасоленные; 2) преимущественно средnezасоленные; 3) преимущественно сильнозасоленные (табл. 5). Для учета площади засоленных почв наиболее пригодны снимки масштаба 1:10000, позволяющие выделять пять степеней засоления и определять площади почв разного засоления с точностью до гектара.

Суммируя все сказанное, можно сделать следующие выводы, касающиеся диагностики засоления почв по панхроматическим снимкам масштаба 1:10000 осеннего срока съемки.

1. Между фотонизображением и степенью засоления метрового (или полуметрового) слоя почвы существует четкая корреляционная зависимость, позволяющая по фотонизображению судить о степени засоления почв и доле участия засоленных почв (% площади контура).

2. Фотонизображение оценивается по тону и рисунку, причем наибольшую информацию несет рисунок. Тон при визуальном дешифровании черно-белых снимков является неустойчивым показателем, поэтому мы предлагаем различать главным

образом два тона: светлый и темный; первый соответствует территории поля, лишенного хлопчатника, второй – под хлопчатником.

3. По фотонизображение выделяются однородные (однотипные) и неоднородные (пятнистые) контуры. Минимальный размер однородного темного контура принят равным > 1 см в диаметре, светлого – $> 0,5$ см.

4. Почвы однородных по фотонизображению контуров являются однородными и по засолению, т.е. в 80–90% случаев они относятся к одной градации по степени засоления и не более, чем в 10–20% случаев – к соседним градациям.

Статистический анализ связи между засолением и фотонизображением почв однородных контуров на снимках масштаба 1:10000 показал, что темно-серое (черное) однородное с едва заметившимися полосами фотонизображение, отражающее рядки посевов хлопчатника, характеризует в 80–90% случаев почвы с низким уровнем засоления (незасоленные и слабозасоленные) в слое 0–100 см. Засоленность более глубоких слоев почв на аэрофотоснимках орошаемых территорий, занятых хлопчатником, не отражается.

Белые (светлые) однородные по фотонизображению контуры характеризуются в 80% случаев средним и высоким или очень высоким уровнем засоления почв в слоях 0–50 см и 0–100 см; засоление более глубоких горизонтов может сильно варьировать и не быть связанным с фотонизображением.

5. Почвы неоднородных (пятнистых) по фотонизображению контуров характеризуются и неоднородным засолением. Дешифрирование неоднородных по фотонизображению контуров сводится к расчленению их на простые – однотонные контуры (белые и темные) и получение характеристики засоления почв

каждого компонента сложного контура в отдельности.

Если неоднородный по фотонизображению контур невозможно расчленить на простые компоненты (из-за масштаба работ или по другим причинам), то засоление почв характеризуется в целом по контуру. При этом контур рассматривается как комплексный нерасчлененный, требующий повышенного количества точек.

Пятнистые контуры делятся по размеру пятен-выпадов и процентному участию пятен от общей площади контура на мелкопятнистые, пятнистые и крупнопятнистые. В зависимости от размера и процента участия слагающих фотонизображение компонентов (светлых и темных пятен) изменяется степень засоления почв в слое 0-100 см или 0-50 см.

А. Мелкопятнистые (пунектирные) контуры (пятна с $d < 2-1$ мм) характеризуют наиболее низкую степень засоления почв. Тенно-серые компоненты мелкопятнистых контуров, занимающие более 60% общей площади, соответствуют почвам незасоленным. При участии менее 60% засоление почв тенно-серых по фототону контуров несколько повышается и оценивается обычно как слабое. Если доля белых нелких пятен составляет менее 40% площади контура, то соответствующие им почвы относятся к слабозасоленным или даже к незасоленным, а при большем количестве нелких пятен засоление соответствующих им почв может возрасти до среднего.

Б. Пятнистые контуры (пятна d 2-5 мм) характеризуют среднюю степень неоднородности фотонизображения и засоленности почв. Если тенно-серый тон покрывает более 80% площади контура, то он отражает почвы незасоленные или слабозасоленные, если эта площадь меньше 60-80%, то почвы относятся к средnezасоленным. Белые участки фотонизображения

соответствуют почвам средней и сильной степени засоления.

8. Крупнопятнистые контуры (пятна d 5-10 мм) наиболее неоднородны по засоленности почв. Светлые по фототону участки при крупномасштабном фотоизображении (при любом процентном содержании их в контуре) характеризуют преимущественно сильнозасоленные почвы. Засоленность почв, которым соответствуют темные компоненты крупнопятнистых контуров, может существенно варьировать в зависимости от доли участия темных пятен.

6. Процент участия светлых и темных пятен, их соотношение и разнер определяют степень засоленности почв темных и светлых компонентов сложных (неоднородных) по фотоизображению контуров:

- увеличение разнеров пятен светлого фототона свидетельствует о возрастании степени засоления почв как на пятнах-выпадах, так и на окружающей территории, прилегающей к пятну;

- увеличение доли участия светлых пятен в контуре указывает на возрастание степени засоления почв в целом по контуру.

Различие в засолении почв светлых и темных компонентов неоднородных контуров обычно соответствует 1-2 градациям по степени засоления.

7. Использование указанных дешифровочных признаков позволяет по фотоизображение с достаточно высокой степенью надежности судить о засолении орошаемых почв хлопковых полей и считать метод дистанционной диагностики почв пригодным для организации мониторинга засоления почв орошаемых территорий.

Основываясь на рассмотренных выше дешифровочных

признаках, можно перейти к этапу составления карты засоления почв как основы для объективной инвентаризации засоленных почв орошаемых территорий.

Технология проведения солевых съенок и составления карт засоления почв для целей инвентаризации орошаемых земель

Анализ существующих методик проведения солевых съенок орошаемых земель

До настоящего времени в нашей стране инвентаризация засоленных земель проводится на основе солевых съенок, базирующихся главным образом на сборе наземной информации о засолении почв, почвообразующих пород и грунтовых вод. Оценка засоления при этом дается только на основе химических анализов. Технология выполнения солевых съенок рассмотрена в инструкциях Минводхоза СССР (1975, 1985), Минсельхоза СССР (1973), а также в совместных Методических указаниях по проведению почвенно-солевым съенок на мелиорируемых землях (Минводхоз СССР и Минсельхоз СССР, 1983). В этих документах говорится о том, что при почвенно-солевым съемках целесообразно использовать материалы аэрофотосъемки. Однако в них не рассматривается специфика почвенно-солевым съенок орошаемых территорий, не приводится методика работ со снимками, не указывается, какую информацию о засолении почв можно получить по снимкам, и, наконец, не приводятся дешифровочные признаки, которые могут быть положены в основу дистанционной диагностики почв. Все эти недостатки можно отнести также и к региональным инструкциям, в частности, к Методике по качественному и количественному учету засоленных земель колхозов и совхозов Узбекистана (Ташкент, 1981). Карты засоления почв, составленные по указанным методикам, обладают рядом общих существенных недостатков, не

позволяющих использовать их для целей мониторинга.

При выполнении почвенно-солевых съемок по перечисленным инструкциям и методичкам материалы аэрофотосъемки используются явно недостаточно. В результате составляются почвенно-солевые карты (картограммы), которые в большинстве случаев не позволяют при повторных съемках получать достоверные сведения об изменении засоления почв в пределах картируемой территории. Причины этого кроются в методике работ, которая не предусматривает обязательного использования информативных аэрофотоснимков, обязательного анализа фотонизображения и привязки выработок к фотоконтурам, обязательного учета неоднородности почвенного покрова и пестроты засоления почв, а также доли участия почв разного засоления в пределах одного контура. Как было показано в предыдущем разделе, пятнистость отражает неоднородность засоления почв в пределах поля или контура. На аэрофотоснимках, отвечающих определенным требованиям, пятнистость четко фиксируется, в то время как на топокарте и зенлаустроительном плане, которые рекомендуются в указанных выше инструкциях в качестве основы для проведения почвенно-солевых съемок, эта пятнистость не видна. Поэтому на картах, составленных не на фотооснове, не фиксируется, где располагаются скважины при солевой съемке: на пятнах-выпадах, которые характеризуют почвы с более сильным засолением, или на участках с более низким засолением? Не указывается обычно на почвенно-солевой карте и доля участия в контуре почв разного засоления. При повторной съемке скважины могут попасть на другие компоненты неоднородных контуров, которые не видны на топокартах, и потому характеристика засоления почв может резко измениться, хотя

это будет отражать не динамику засоления, а его пестроту в пределах поля. Увеличение числа выработок и статистическая оценка засоления, рекомендуемая Б.Ю. Маргулисом (1975), в пределах неоднородных контуров лишь резко повысит стоимость работ, но не всегда обеспечит получение достоверной информации о засолении почв и его динамике, если выработки будут заложены без учета фотонизображения – вслепую. Поэтому мы считаем, что применяемая в настоящее время методика почвенно-солевых съемок не отвечает требованиям мониторинга. Она должна быть изменена с учетом возможностей дистанционной диагностики засоления почв, основанной на анализе фотонизображения.

Впервые методика оценки степени засоления почв хлопковых полей была разработана и опубликована нами в семидесятых годах (Панкова, Мазиков, 1975, 1976). В 1985 г. она была опубликована в форме Методических рекомендаций (Панкова, Мазиков, 1985). К этому времени вышли и Методические рекомендации по использованию материалов аэрокосмической фотосъемки для оценки засоленности орошаемых земель, составленные сотрудниками ВНИИГиМ (1982). В 1989 г. к "Методике по качественному и количественному учету засоленных земель колхозов и совхозов Узбекской ССР" (1973) было выпущено дополнение, составленное А.Б. Фирджановым. В этой работе подробно рассмотрена технология проведения солевых съемок на основе анализа изображения аэрофотоснимков. Автор предлагает по фототону на черно-белых снимках выделять пять тональностей, соответствующих пяти степеням засоления: от промытых (темно-серых) до очень сильнозасоленных (белых). Мы считаем, что при визуальном дешифрировании черно-белых

панхронатических снимков такое разделение практически невозможно. А.Б.Фирджанов также указывает на сложность дробного разделения фотонизображения по тональности (Методика..., стр.6) и предлагает объединять контуры, слабо различающиеся по тональности, и выделять двучленные комплексы. Всего по фотонизображению на снимках масштаба 1:10000 он считает возможным выделить 21 разновидность почв по засолению. К сожалению, автор не дает характеристики фотонизображения этих разновидностей.

Подход к характеристике засоления почв хлопковых полей по аэрофотоснимкам, предложенный А.Б.Фирджановым, в целом согласуется с нашими разработками. Отличие наших подходов состоит в следующем.

1. Мы предлагаем при визуальном дешифрировании использовать более простое деление фотонизображения хлопковых полей по тону, выделяя на черно-белых снимках только два резко контрастных тона: темный и светлый, понимая, что это разделение достаточно грубо.

2. При оценке фотонизображения мы учитываем процент участия пятен и их размер, считая, что оба эти признака несут информацию о засолении почв.

3. Всего по рисунку фотонизображения мы предлагаем выделять 11 типов фотоконтуров; при характеристике дешифровочных признаков дано описание этих фотоконтуров (табл.4).

4. При характеристике засоления почв неоднородных по фотонизображению контуров дан покомпонентный анализ связи засоления и фототона с учетом размера пятен и доли их участия в площади контура.

5. Для снимков масштаба 1:10000 нами установлена

зависимость размера однотонного (темного или светлого) по фототону контура и засоления почв.

6. Определены природные условия, в которых более целесообразно оценивать засоление почв по фотонизображению в слое 0–50 см, а не в слое 0–100 см.

Ниже приводятся основные положения разработанной нами методики почвенно-солевых съемок орошаемых территорий. Эта методика (по нашему мнению) может быть положена в основу дистанционного мониторинга засоления почв орошаемых территорий хлопкосеющей зоны.

Требования к выполнению почвенно-солевых съемок орошаемых территорий

Орошаемые территории являются крайне сложным объектом картирования засоления почв из-за динамичности картируемого показателя, нелкой контурности и высокой пространственной неоднородности засоления почв, а также сложности визуальной оценки засоления и обнаружения в натуре границ контуров почв разного засоления. Эти особенности и определяют требования к почвенно-солевым съемкам орошаемых территорий (Гусенков, 1979; Гусенков, Панкова, 1986).

Почвенно-солевые съемки орошаемых территорий должны проводиться оперативно, в течение одного сезона, продолжительность которого не должна превышать двух-трех месяцев, так как засоление орошаемых почв является динамичным показателем, изменяющимся как в сезонном, так и многолетнем цикле. Поэтому недопустимо совмещать на одной карте сведения, полученные в разные сезоны года и тем более в разные годы. На карте должна быть указана дата солевых съемок. Съемки следует проводить осенью – в сухой период, после прекращения поливов, желательно в период аэрофотосъемки или в течение 1-2 месяцев после аэрофотосъемки территории.

Почвенно-солевые съемки орошаемых территорий могут выполняться в разных масштабах в зависимости от цели работ. Для характеристики мелиоративного состояния массива орошения, площадь которого исчисляется десятками тысяч гектаров, для выявления ареалов распространения засоленных почв, районирования территории, выбора мест заложения ключевых участков в целях более детальных исследований

почвенно-солевые съемки проводят в средних масштабах (1:50000 - 1:200000). Для учета площадей почв разного засоления - инвентаризации земель в целях мониторинга - солевые съемки должны выполняться в крупных масштабах (1:10000 и 1:25000); при контроле за протеканиями на опытных участках, изучении динамики засоления на отдельных полях выполняются детальные солевые съемки.

Поскольку орошаемые засоленные территории характеризуются, как правило, высокой пространственной вариабельностью засоления почв, почвенно-солевые съемки орошаемых территорий должны обеспечить отражение на картах неоднородности засоления почв путем показа комплексных контуров и доли участия в них почв разного засоления. Засоление почв каждого компонента неоднородности почвенного контура характеризуется самостоятельно.

Для получения сведений о засолении почв неоднородных контуров и определения состава и процента компонентов почв разного засоления проводятся исследования в более детальном масштабе на ключевых участках. Чем меньше размер почвенного контура или компонента его неоднородности, тем крупнее должен быть масштаб съемки для ее расшифровки (табл. 6).

При картировании орошаемых полей с однородным фотоизображением следует иметь в виду, что середина междурений, как правило, отличается повышенным засолением по сравнению с прилегающими участками. Это необходимо учитывать, закладывая почвенные выработки при картировании и оценке вариабельности засоления почв.

Почвенно-солевые съемки орошаемых территорий делятся на первичные и повторные. Эти виды съемок должны прежде всего различаться по объему полевых работ. Первичная

Таблица 6. Наименьшие контуры, выделяемые или видные на картах и снимках в зависимости от масштаба съемки *

Масштаб съемки	Масштаб числитель	Наименьшая величина самостоятельно выделяемых почвенных контуров				Наименьшая величина видных на снимках контуров объектов			
	1:1 см - 1 м	дистанция		разрешения		отчетливо видны на снимках		слабо различимы на снимках	
	1 кв. см			в натуре					
	га, кв. см	на карте (снимке)	в натуре	на карте (снимке)	площадь контура	размер контура (на снимке)	в натуре	размер контура (на снимке)	в натуре
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1:200	<u>2 м</u> 4 кв. м	0,2 кв. см	0,8 кв. м	1 кв. см	4 кв. м	1 кв. см	0,04 кв. м	0,1 кв. см	0,004 кв. м
1:500	<u>5 м</u> 25 кв. м	То же	3 кв. м	1 кв. см	25 кв. м	То же	0,25 кв. м	То же	0,025 кв. м
1:1000	<u>10 м</u> 100 кв. м	То же	20 кв. м	1 кв. см	100 кв. м	То же	1 кв. м	То же	0,01 кв. м
1:2000	<u>20 м</u> 400 кв. м	То же	80 кв. м	1 кв. см	400 кв. м	То же	4 кв. м	То же	0,04 кв. м
1:5000	<u>50 м</u> 0,4 га	То же	500 кв. м	1 кв. см	2500 кв. м	То же	25 кв. м	То же	0,25 кв. м
1:10 000	<u>100 м</u> 1 га	То же	0,2 га	0,5 кв. см	0,5 га	То же	100 кв. м	То же	1 кв. м
1:25 000	<u>250 м</u> 6 га	То же	1,25 га	0,5 кв. см	3 га	То же	625 кв. м	То же	6 кв. м
1:50 000	<u>500 м</u> 25 га	То же	5 га	0,5 кв. см	12,5 га	То же	2500 кв. м	То же	25 кв. м
1:100 000	<u>1 км</u> 100 га	То же	0,2 кв. см	20 га	0,5 кв. см	50 га	1 кв. см	1 га	0,1 кв. м
1:200 000	<u>2 км</u> 400 га	То же	0,8 кв. см	0,2 кв. см	0,8 кв. см	То же	4 га	То же	400 кв. м
1:500 000	<u>5 км</u> 25 кв. см	То же	5 кв. см	0,2 кв. см	5 кв. см	То же	250 000 кв. м	То же	2500 кв. м
1:1 000 000	<u>10 км</u> 100 кв. см	То же	20 кв. см	0,3 кв. см	20 кв. см	То же	1 кв. см	То же	10 000 кв. м
	10 000 га						100 га		1 га

*)

Таблица составлена на основе материалов, приведенных в работах (Методика составления крупномасштабных почвенных карт с применением аэрофотосъемки, 1962; Почвенная съемка, 1959; Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям, 1973. В этой работе размеры наименьших контуров зависят от видности границ.

почвенно-солевая съемка, направленная на инвентаризацию засоленных земель, как первый этап мониторинга должна выполняться на основе аэрофотоснимков с полным объемом наземного обоснования, т.е. число почвенных разрезов (или скважин) не должно быть меньше, чем при обычной почвенно-солевой съемке, выполняемой традиционными методами.

В зависимости от масштаба съемки и сложности почвенного покрова, отраженной на аэрофотоснимках, при наземных почвенно-солевых съемках разными нормативными документами рекомендуется разное количество выработок (табл.7). Количество шурфов при почвенных съемках, рекомендуемое ФАО (1979), значительно (иногда на порядок) выше норм, предусмотренных нашими инструкциями.

Почвы орошаемых территорий следует рассматривать как земли высоких категорий сложности, что обуславливает засоление наибольшего числа выработок, соответствующего масштабу съемки. Место расположения выработок определяется по фотоизображению. Каждый выделенный по фотоизображению контур или тип (группа) однородных фотоконтуров должны получить самостоятельную информацию о засолении.

Чем точнее будет составлена почвенно-солевая карта на первом этапе работ, тем легче будет получить достоверные материалы при повторных съемках и тем точнее будет оценка динамики засоления почвы.

Объем наземной информации при повторных циклах исследований может быть сокращен в том случае, если статистически будет доказана высокая точность получаемой по снимкам информации.

Картирование засоления почвы орошаемых территорий на

Таблица 7. Количество почвенных выработок, рекомендуемых при почвенно-солевых съемках по разным нормативным документам

Масштаб	Количество почвенных выработок (в числителе - количество выработок на 1 кв. км в знаменателе - площадь, га на 1 почвенную выработку)									
	1	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1:50 000	0,2 150	0,7 110	2 50	0,2 134	1,2 83	2 50	0,7 130	2 50	2 100	3 66
1:25 000	1,2 80	2 50	4 25	1,2 66	2,5 40	4 20	1,2 12,5	3 30	3 66	4 66
1:10 000	4 25	6 18	10 10	6 20	12 14	20 5	12 25	8 12	12 8	12 8
1:5 000	1,2 7	2,5 4	5 2	1,2 12	2,5 8	5 4	2,5 8	3 6	5 4	5 4
1:2 000	3,2 3	6,2 1,5	12 0,5	3,2 5	6,2 3	12 1	3,2 1,5	6,2 0,6	12 0,3	12 0,3

х) Количество выработок варьирует в зависимости от категории сложности ландшафтов объекта: 1 - Общесоюзная инструкция по почвенным исследованиям и составлению крупномасштабных карт (1973). П - Методические указания по проведению почвенно-солевых съемок на нелирированных землях (1983). Ш - Инструкция по почвенным исследованиям для нелирированных и водоохранного строительств (1975). IV - Там же, количество выработок при специальной количественной солевой съемке. V - Руководство FAO Soil Survey Investigation of Irrigation-FAO soil Bulletin 42, - FAO, Rome, 1979. VI - Панкова Е.И., Мазиков В.М. Методические вопросы использования аэрофотоснимков для оценки засоления почвы (1975) (количество выработок определяется сложностью фотозаболевания).

основе аэрофотоснимков ведется по косвенному признаку — по фотоизображению, отражающему состояние культуры, что четко фиксируется на снимках и коррелирует с засолением почв. При этом в качестве аксиомы принимается, что главным фактором, определяющим состояние культуры, является именно засоление почв. Это положение было проверено нами для территории хлопкосеющей зоны. Исключение представляет земля, недавно освободившаяся под ирригацию (менее 5 лет), а также земля, подверженная активной эрозии. В этих случаях четкой связи между фотоизображением и засолением почв не прослеживается.

Картирование засоления почв по состоянию хлопчатника определяет требования к срокам выполнения полевых работ и к срокам аэрофотосъемки. Сроки полевых работ и сезон аэрофотосъемки должны совпадать. Основные требования к материалам аэрофотосъемки, содержащим информацию о засолении почв, изложены выше.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что почвенно-солевые съемки для целей мониторинга следует выполнять на основе материалов аэрофотосъемки, строго отвечающих определенным требованиям. Первичная почвенно-солевая съемка для целей мониторинга должна базироваться на камеральной и полевой дешифрировке снимков, дающей достоверную информацию о засолении почв.

На последующих этапах мониторинга, при повторных съемках объем полевой информации может быть существенно уменьшен и в некоторых случаях — при высокой корреляции фотоизображения с засолением почв — ликвидирован.

Технология работ по составлению карт засоления почв орошаемых территорий хлопкосеющей зоны в целях мониторинга

Карта засоления почв является основным документом, отражающим состояние почв на момент обследования, и основой для дальнейших наблюдений за солевыми процессами. Работы по составлению карты засоления почв крупных масштабов на основе аэрофотоснимков включает в себя три этапа, обычные для почвенного картографирования: предполетный, полетный и камеральный (послеполетный) (Методика..., 1962, 1973 и др.).

На первом - предполетном - этапе работы, кроме обычного сбора информации, необходимой для составления почвенно-солевых карт традиционными методами (Методические указания..., 1983), выполняется следующий объем работ. Во-первых, необходимо получить снимки, отвечающие определенным требованиям (см. выше). Во-вторых, по снимкам необходимо выделить территории, занятые хлопчатником и другими культурами, так как рассмотренные выше дешифровочные признаки для оценки засоления почв, разработаны только для хлопчатника. Для других культур (люцерна, кукуруза, рис, сады, виноградники), возделываемых в хлопкосеющей зоне, должны быть выработаны свои дешифровочные признаки, для чего можно использовать те же методические подходы, что и в отношении хлопчатника. В хлопкосеющей зоне Средней Азии хлопчатник занимает обычно 70%, а иногда и 90% площади орошаемых земель. Лишь в последние годы эти площади стали несколько сокращаться. Тем не менее можно считать, что установленные нами дешифровочные признаки могут использоваться на основной

части земель хлопкосеющей зоны. На основе аэрофотоснимков составляется карта сельскохозяйственных культур, которая, кроме вспомогательного значения для составления карты засоления почв, имеет и самостоятельное значение. Она служит одним из основных документов при контроле за использованием орошаемых земель, соблюдении рекомендаций по мелиоративному освоению территорий, выполнении севооборотов и т.д. На этой карте целесообразно отразить также состояние сельскохозяйственных культур.

По черно-белым панхронатическим снимкам масштаба 1:10000 - 1:25000 легко дешифрируется следующая информация:

- границы землепользования, гидротехнические сооружения, коллекторно-дренажная сеть, оросительная сеть, усадьбы совхозов (рис.11);
- целинные, залежные земли, пашни богарные, орошаемые земли и земли, подготавливаемые к проныканию и орошению;
- сельскохозяйственные культуры: хлопчатник, люцерна, зерновые (пшеница, кукуруза, рис), бахчи, сады и виноградники (рис.12);
- категории состояния хлопчатника: хорошее, удовлетворительное и плохое (рис.13).

Дешифровочные признаки сельскохозяйственных культур устанавливаются и проверяются в поле единожды. Они являются устойчивыми признаками, не требующими дополнительной проверки в поле при повторных работах в том случае, если соблюдаются единые технические условия аэросъемки (сезон и масштаб аэросъемки, тип пленки и т.д.).

На рабочую основу с имеющихся природных карт переносятся основные природные рубежи (границы почвенно-литолого-геоморфологических районов, гидрогеологических районов и

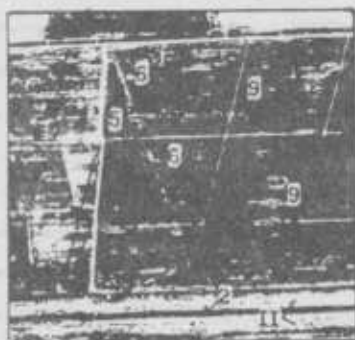


Рис. 11. Некоторые объекты, легко дешифрируемые по фотоснимкам и 1:10000.
 1 - каналы; 2 - коллекторы;
 3 - неудобья; 4 - населенные пункты; 5 - расположение закрытого дренажа и створные колодцы (6) над дренами; 7 - свежеспаханное поле и поливы (8) на нем; 9 - ок-арки; 10 - шоссе; 11 - проселочные дороги

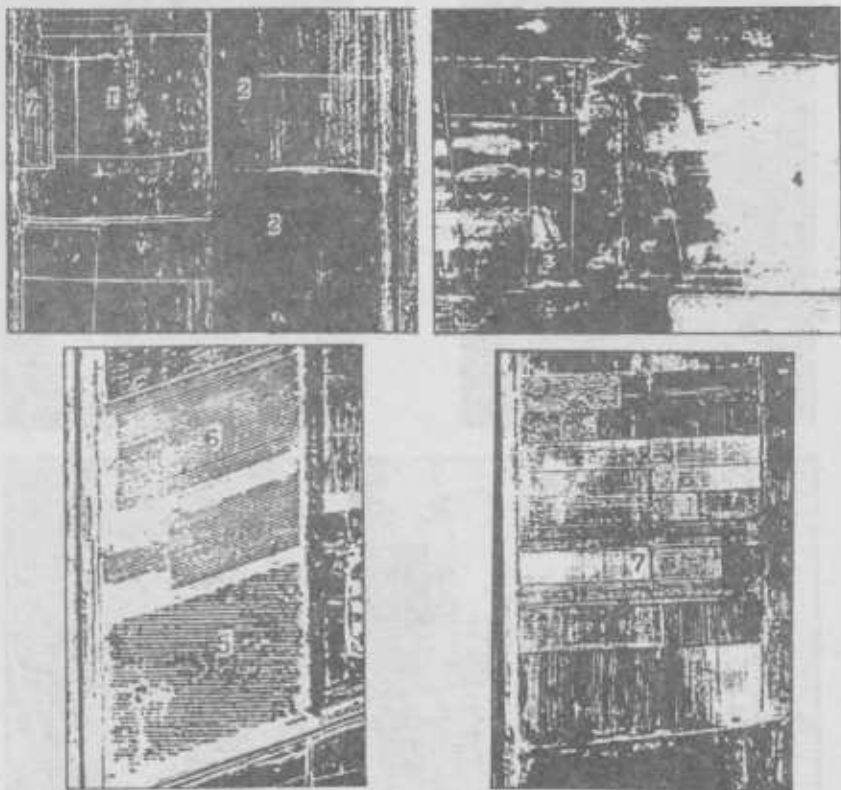


Рис. 12. Фотоизображение различных сельскохозяйственных культур на раннеосенних аэрофотоснимках масштаба 1:100000: 1 - хлопчатник; 2 - кукуруза; 3 - лецерна; 4 - лецерна скошенная; 5 - сады; 6 - виноградники; 7 - бакчи, огороды

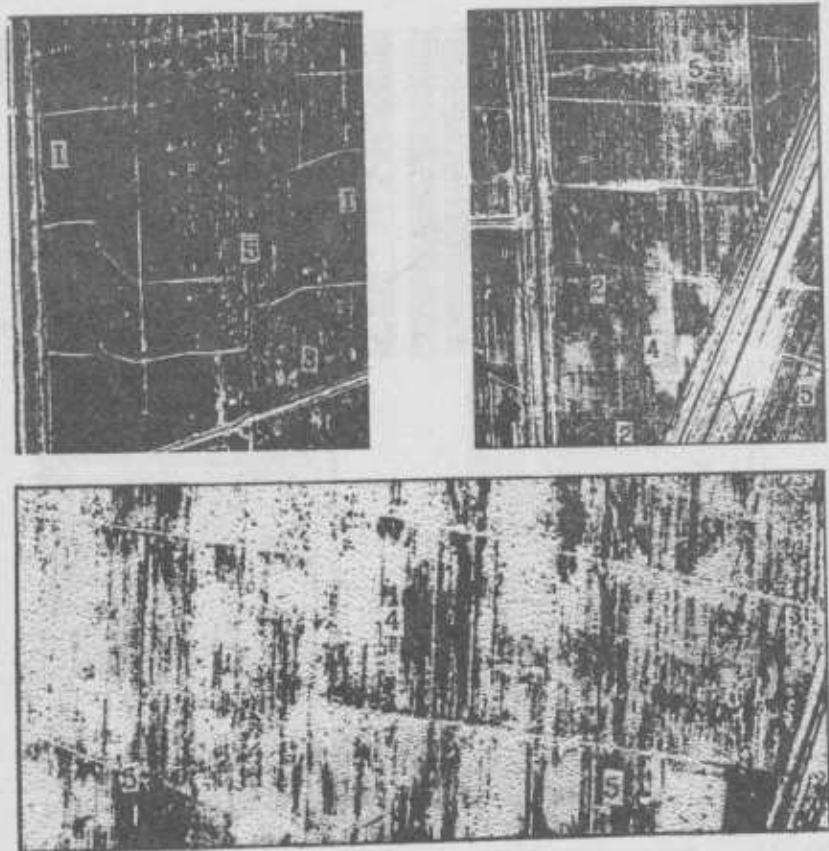


Рис. 13. Дешифровочные признаки засоления почв полей хлопчатника:

1 - однородный темно-серый тон, белый крап занимает менее 30% площади. Почвы не засолены или слабо засолены в слое 0-100 см; 2 - однородный светло-серый тон; белый крап занимает менее 30% площади. Почвы преимущественно слабо засолены; 3 - белесый тон, темный крап занимает менее 20% площади. Размеры контуров 0,25-1,0 га. Почвы преимущественно сильно засолены; 4 - белесый тон, темный крап занимает менее 20% площади. Размеры контуров более 1,0 га. Почвы преимущественно сильно засолены; 5 - сложные контуры, засоление почв которых зависит от доли участия в них белесых пятен-выпадов площадью менее 0,25 га и может колебаться от слабого до сильного.

основных типов почв и другие показатели, определяющие природное районирование территории). Таким образом, создается основа предварительной карты, на которой отражаются основные природные районы и контуры, различающиеся по фотонизображению. В пределах одного природного района по фотонизображению можно выделить один или несколько подрайонов, а то же время один тип фотонизображения в хлопкосеющей зоне можно встретить в разных природных районах. Для каждого массива, имеющего специфическое фотонизображение и приуроченного к определенному почвенно-литолого-геоморфологическому (природному) району в ходе полевых работ должны быть собраны данные о засолении почв, подтверждающие дешифровочные признаки и обосновывающие связь засоления с фотонизображением. В ходе предполевого этапа работ намечаются маршруты полевых исследований так, чтобы они пересекали все основные природные районы и основные фотомассивы, т. е. территории, различающиеся по фотонизображению.

В пределах отдельных районов кроме маршрутных исследований планируются работы на ключевых участках для установления доли участия почв разного засоления и дополнительного обоснования дешифровочных признаков. Расположение ключевых участков, их размер и форма строго регламентируются. Объем работ на них намечается в предлевой период и уточняется при полевых исследованиях. Он определяется особенностями фотонизображения, отражающего строение почвенного покрова территории, в том числе размер элементарных почвенных ареалов, составляющих неоднородный контур.

Если клочевой участок характеризует неоднородное фотоизображение, которое невозможно расчленить на отдельные контуры в заданном масштабе, то площадь клоча должна быть достаточной для того, чтобы на его территории с повторностью в 5-9 раз отразились элементы неоднородности фотоизображения, т.е. элементы неоднородности структуры почвенного покрова. Эта информация может быть собрана и на разных, но однотипных по фотоизображению контурах. Масштаб работ на клочевых участках должен позволить охарактеризовать засоление почв каждого элемента рисунка фотоизображения в отдельности. Если элементарный почвенный ареал, создавший неоднородность фотоизображения, измывается в натуре нетрами, то для расшифровки неоднородных контуров необходимы детальные исследования.

Клочевой участок должен иметь типичное фотоизображение характеризуемого им района. Типичность участка обосновывается статистически по фотоизображению и проверяется после получения аналитических данных по засолению почв. Для статистической характеристики фотоизображения целесообразно принимать во внимание два признака: 1) количество светлых (или темных) пятен на единицу площади; 2) процент общей площади, занимаемой светлыми (темными) пятнами на единицу площади или линейную величину. Путем сопоставления выбранных показателей по клочевому участку и району в целом и устанавливается типичность выбранного клочевого участка (Шабанов, Рудаченко, 1971; Сорокина, 1986). Каждый тип фотоизображения должен быть охарактеризован хотя бы одним клочевым участком. При этом "клич" рассматривается как территория, где выработки названного опробования сгущены.

В итоге выполнения работ в предполетный период должна быть составлена предварительная карта, на которой отражено разделение территории по фотонизображению с учетом почвенно-литолого-геоморфологических сведений о районе, намечены места заложения ключевых участков (или ключевых профилей) и маршрутных исследований, охватывающих все разнообразие ландшафтов картируемой территории.

На основе разработанных и рассмотренных выше дешифровочных признаков по фотонизображению можно на качественном уровне получить информацию о степени засоления почв хлопковых полей.

Для уточнения и проверки карты, составленной на основе канерального дешифрирования снимков, проводятся полевые работы.

Полевая проверка карты выполняется методом маршрутных и ключевых исследований, в ходе которых закладываются скважины для отбора образцов почв в контурах, выделенных на карте. Расположение скважин строго фиксируется на снимке. Скважины должны быть привязаны к определенному контуру и элементу фотонизображения. Полевая проверка карты обязательно проводится в год и сезон выполнения аэрофотосъемки, используемой в работе по контролю засоления почв.

Маршрутные и ключевые исследования должны обеспечить сбор необходимой количественной информации для характеристики засоления почв. Полевые работы целесообразно начинать с рекогносцировочных маршрутных исследований. Маршруты должны пересекать все основные почвенно-литолого-геоморфологические районы в пределах территории, подверженной дистанционному контролю. Работы на

ключевых участках обеспечивает подтверждение дешифровочных признаков аналитическими данными. Каждый выделенный на карте тип фотонизображения должен получить статистически обоснованную количественную характеристику засоления почв и сведения о доле участия в контуре почв разного засоления. Методика работ по полевому дешифрированию аэрофотоснимков и объем необходимой наземной информации для оценки засоления почв с использованием материалов аэрофотосъемки изложен в "Методических рекомендациях ..." (1985).

Общее число выработок, заложенных на ключевых участках и в ходе маршрутных исследований, при первом цикле работ по программе "мониторинг" должно соответствовать заданному масштабу съемки на массиве в целом или составлять около 85-90% требуемого числа выработок (табл.7), 10-15% оставляется для дальнейшей проверки карты. Все почвенные выработки и места заложения ключевых участков выносят на снимок с точной привязкой их к фотонизображению. Из каждой выработки отбираются образцы почв на анализ засоления.

Мощность слоя, характеризующегося при солевой съемке, зависит от цели работ и ландшафтных особенностей объекта исследований. Нам было установлено, что по фотонизображению можно получить сведения о засолении только слоя 0-100 см (или 0-50 см) орошаемых почв, для получения информации о более глубоких слоях необходимы наземные работы.

В итоге полевых исследований составляется полевая карта с показом всей информации, собранной в поле и полученной в ходе предполевого дешифрирования. Кроме того, составляется ведомость-заказ на выполнение анализов почв и грунтовых вод и предварительная диагностическая таблица с указанием почвенно-литолого-геоморфологического района, типа

фотоизображения, к которым приурочены скважины или почвенные разрезы, обосновывающие засоленность почв основных выделенных на карте контуров (табл.8). Заказ на выполнение химических анализов должен составляться с учетом следующих требований. Большая часть (до 90%) образцов напечатается для анализа по сокращенной методике водной вытяжки с определением иона натрия (для почв сульфатного и хлоридно-сульфатного типов засоления), хлорид-иона (для почв хлоридного типа засоления), либо других информативных показателей, например, HCO_3^- и pH для территорий, подверженных содовому засолению. Информативный показатель оценивается предварительно по данным прошлых лет о засолении почв на основе корреляции этого показателя с суммой токсичных солей (Панкова, Мазиков, 1985).

Известно, что оценить засоление почв можно не только по данным водных вытяжек, но и на основе анализа экстрактов паст и почвенных растворов. В зависимости от метода получения анализируемого раствора критерии оценки засоления будут различными.

Для оценки засоления почв для целей мониторинга одним из требований к анализам, на основе которых оценивается засоление, является их оперативность и воспроизводимость. С этих позиций наиболее приемлемы водные вытяжки и пасты. Приготовление экстрактов из паст - более трудоемкая и сложная работа, чем получение водных вытяжек. Поэтому для целей мониторинга можно рекомендовать именно метод водной вытяжки, широко используемый в нашей стране, хотя за рубежом часто используются экстракты паст.

Наряду с данными о легкорастворимых солях, при солевых съемах необходимо получить сведения о гипсовых

новообразованиях, которые часто влияют на нелюбительные свойства засоленных почв. Эти сведения могут быть собраны только в ходе полевых исследований или при сборе фондовых материалов, так как дистанционная диагностика гипсоносности почв пока не разработана.

Камеральные работы начинаются после получения результатов химических анализов. Обрабатываются аналитические материалы: рассчитывается средневзвешенное засоление в профиле почв, оцениваются глубина проявления солевого горизонта, тип засоления, рассчитывается содержание токсичных солей, определяется степень засоления и гипсоносности почв, выводятся регрессионные зависимости между отдельными показателями. Критерии оценки засоленности почв приведены в таблицах 9-14.

Обработка данных химических анализов завершается составлением диагностических таблиц. Почвы каждого выделенного по фотоизображению почвенного контура однотипных контуров (в пределах клочка и природного района) должны получить статистическую характеристику засоления ($\bar{X}$, S , $V, \%$). С помощью диагностических таблиц следует также выявить преобладающее засоление. Форма диагностической таблицы показана в таблице 8.

Почвенно-солевая карта (или карта засоления почв) должна содержать сведения о засолении почв всех выделенных на ней почвенных контуров. Засоление почв части контуров характеризуется по данным химических анализов, части - методом экстраполяции, поэтому на карте следует показать места расположения точек опробования.

На карте засоления обычно отражается следующая информация.

Таблица В. Легенда к карте засоления почв
 ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА СВЯЗИ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯ С ЗАСОЛЕНИЕМ СЛОЯ ПОЧВЫ 0-100 CM
 (указываются характеризуемый район)

Плотность, соответствующая типу рисунка фотоизображения и коэффициент пятнистости контуров	Плотность, соответствующая числу характеризуемого типа контуров, на 100 см² в слое 0-100 см	Характеристика засоления в пределах общей площади	Состав засоленной почвы в пределах участка	Статистическая оценка
1	1	1-2	2-4 1-4	3 6 9
2	2	3-4	5-12	
3	3	5-12	13-12	
4	4	13-12	13-12	
5	5	13-12	13-12	
6	6	13-12	13-12	
7	7	13-12	13-12	
8	8	13-12	13-12	
9	9	13-12	13-12	
10	10	13-12	13-12	
11	11	13-12	13-12	

В числитель, соответствующий слою, не вносится.
 В знаменатель - количество изображений, изображений - 3 от их общего числа.
 В числитель - количество засоления и по другим показателям, характеризующим с суммой токсичными элементами токсичности.
 В знаменатель - количество засоления и по другим показателям, характеризующим с суммой токсичными элементами токсичности.
 В числитель - количество засоления и по другим показателям, характеризующим с суммой токсичными элементами токсичности.
 В знаменатель - количество засоления и по другим показателям, характеризующим с суммой токсичными элементами токсичности.

Таблица 9. Разделение орошаемых почв по глубине залегания верхней кровли солевого горизонта

Почвы	Глубина залегания верхней кровли солевого горизонта в слое, см
Солончаковые (включая солончаки)	0 - 30
Высокосолончаковые	30 - 50
Солончаковатые	50 - 100
Глубокозасоленные	100 - 200
Потенциальнозасоленные	Глубже 200

Таблица 10. Оценка степени засоления почв по вытяжкам из паст (Richards, 1954)

Показатель	Метод определения		Засоленность
	по электропроводности, мСм/см при t=25°C	сунна солей на 100 г почвы, в (100 г почвы), %	
Засоление практически не проявляется	До 2	0-0,15	Отсутствует
Снижение урожайности культур:			
чувствительных			
засоления большинства	2-4	0-0,15	Слабая
в удовлетворительном состоянии находятся культуры:	4-8	0,15-0,35	Средняя
только солеустойчивые	8-16	0,35-0,65	Сильная
очень немногие солеустойчивые культуры	> 16	> 0,65	Очень сильная

Таблица 11. Оценка уровня засоления почв по содержанию ионов. мг-экв/100 г почвы % (по данным водных вытяжек 1:5)

Уровень (степень) засоления почв	Хлоридное, сульфатно-хлоридное		Хлоридно-сульфатное, сульфатное		Щелочное (содовое)	
	Cl -	Na+	Na+	HCO ₃	Na+	pH водн
				3		1/2,5
				(токсичн.)		
Незасоленн.	<0,3	<1,0	<1	<0,8	<0,6	<8,5
Низкий	0,3-1	1-2	1-2	0,8-1,4	0,6-1,4	8,5-8,8
Средний	1-3	2-4	2-6	1,4-2,0	2-4	9-9,1
Высокий	3-7	4-8	6-12	2,0-3,0	4-8	9,2-9,4
Очень высокий	>7	>8	>12	>3,0	>8	>9,5

Уровень засоления может оцениваться по одному из приведенных показателей, который наиболее четко коррелирует с суммой токсичных солей.

Таблица 12. Классификация засоления почв по относительному содержанию ионов в водной вытяжке, мг-экв/100 г почвы

№ пп	Химизм засоления	Показатель
1.	Нейтральное	$pH < 8,5$ $HCO_3^- < 1,4$ мг-экв/г почвы $HCO_3^- < Cl$ и $< SO_4$
-	хлоридный	$Cl : SO_4 > 2,5$
-	сульфатно-хлоридный	$Cl : SO_4 = 2,5-1$
-	хлоридно-сульфатный	$Cl : SO_4 = 1-0,2$
-	сульфатный	$Cl : SO_4 < 0,2$
-	хлоридно-сульфатный	$Cl : SO_4 < 1-0,2$ или $< 0,2$
и	сульфатный с повышен- ным содержанием гипса	SO_4 гипса и $Ca > 10-12$ мг-экв/100 г почвы
2.	Щелочное	$HCO_3^- > Cl$ или $HCO_3^- > SO_4$
-	содовый	$pH > 8,5$ $HCO_3^- > Ca+Mg$ для засолен- ных $HCO_3^- > 1,4$ мг-экв/100г почвы
-	содово-хлоридный	$Cl > SO_4$ $HCO_3^- < Cl$
-	хлоридно-содовый	$Cl > SO_4$ $HCO_3^- < Cl$
-	содово-сульфатный	$Cl < SO_4$ $HCO_3^- < SO_4$
-	сульфатно-содовый	$Cl < SO_4$ $HCO_3^- > SO_4$
	Щелочно-несодовый	$pH < 8,5$ $HCO_3^- < Ca+Mg$ $HCO_3^- > 1,4$ мг-экв/100 г почвы

* В наименование засоления включаются только те ионы, содержание которых превышает 20% суммы анионов (или катионов), выраженной в миллиграмм-эквивалентах; преобладающий ион ставится в названии на последнее место. Содержание CO_3 в расчет не включается, так как входит в общую щелочность.

** Повышенное содержание гипса определяется по наличию в водных вытяжках более 1% гипса, содержание SO_4 гипса и кальция в этом случае более 10-12 мг-экв/100 г почвы.
 $SO_{4\text{ток}} = SO_4 \text{ общ} - (Ca - HCO_3^-)$. $SO_4 \text{ общ} - SO_{4\text{ток}} = SO_4 \text{ гипса}$.
Для гипсоносных почв целесообразно оценивать дополнительно химизм токсичных солей.

*** Содовость отмечается только в щелочных почвах, в которых HCO_3^- больше суммы Ca и Mg (мг-экв), $pH > 8,5$.

**** Более точная группировка почв по щелочности дана в работе С.П. Зананы, Л.А. Воробьевой (1989).

Таблица 13. Классификация почв по содержанию солей и зависимости от химизма (числитель — сумма солей; знаменатель — сумма токсичных солей K , % водной вытяжки 1:5)

Уровень (степень)	Безопасность (содержание ионов, мг-экв/100 г г.п.)					
	нейтральной			кислой		
	хлоридный, (хлоридно-сульфатно-сульфатно-хлоридный) $\text{K} = \frac{\text{Cl} + \text{SO}_4}{\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3}$	сульфатно-хлоридный $\text{K} = \frac{\text{SO}_4}{\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{HCO}_3}$	сульфатно-хлоридный $\text{K} = \frac{\text{SO}_4}{\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{HCO}_3}$	хлоридно-сульфатно-хлоридный $\text{K} = \frac{\text{Cl} + \text{SO}_4}{\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3}$	сульфатно-хлоридный $\text{K} = \frac{\text{SO}_4}{\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{HCO}_3}$	сульфатно-хлоридный $\text{K} = \frac{\text{SO}_4}{\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{HCO}_3}$
засоленая почва	$\text{K} < 0,1$ $\text{pH} < 8,5$	$\text{K} < 0,1$ $\text{pH} < 8,5$	$\text{K} < 0,15$ $\text{pH} < 8,5$	$\text{K} < 0,1$ $\text{pH} < 8,5$	$\text{K} < 0,15$ $\text{pH} < 8,5$	$\text{K} < 0,2$ $\text{pH} < 8,5$
Почва засоленности (беззасоленные почвы)	$\frac{0,1}{0,05}$	$\frac{0,1}{0,05}$	$\frac{0,15}{0,05}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,2}{0,15}$
Низкой	$\frac{0,1-0,2}{0,05-0,12}$	$\frac{0,1-0,25}{0,05-0,12}$	$\frac{0,15-0,3}{0,05-0,12}$	$\frac{0,1-0,2}{0,1-0,15}$	$\frac{0,15-0,25}{0,15-0,25}$	$\frac{0,2-0,4}{0,15-0,3}$
Средней	$\frac{0,2-0,4}{0,12-0,35}$	$\frac{0,25-0,5}{0,12-0,35}$	$\frac{0,3-0,6}{0,12-0,35}$	$\frac{0,2-0,3}{0,15-0,3}$	$\frac{0,25-0,4}{0,25-0,4}$	$\frac{0,4-0,5}{0,3-0,5}$
Высокой	$\frac{0,4-0,8}{0,35-0,70}$	$\frac{0,5-1,02}{0,35-0,70}$	$\frac{0,6-1,52}{0,35-0,70}$	$\frac{0,3-0,5}{0,3-0,5}$	$\frac{0,4-0,6}{0,4-0,6}$	Не встречается
Очень высокой	$\frac{0,8}{0,70}$	$\frac{1,0}{0,70}$	$\frac{1,5}{0,70}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,6}{0,6}$	То же

K — Сумма токсичных солей равна сумме токсичных ионов, выраженная в процентах: $\text{Stokc.солей} (\%) = \text{Cl} + \text{Mg} + \text{SO}_4 \text{ токс.} + \text{HCO}_3$.

K Ионы Cl , Na , Mg относятся к категории токсичных элементов; расчет токсичных ионов целесообразно производить только в случае, когда содержание Ca в водных вытяжках более 1–2 мг-экв/100г почвы. $\text{HCO}_3 \text{ токс.} = \text{HCO}_3 \text{ общ.} + \text{Ca}$; $\text{SO}_4 \text{ токс.} = \text{SO}_4 \text{ общ.} - (\text{Ca} + \text{HCO}_3)$. Расчет сумм токсичных ионов проводят в миллиграмм-эквивалентах, затем эти величины переводят в проценты и суммируют.

K Почвы хлоридно-сульфатного и сульфатного типов засоления следует обязательно оценивать по содержанию токсичных солей, так как оценка по плотному остатку (общей сумме солей) может привести к существенным ошибкам. Поэтому в соответствующих графиках приводятся градиенты только по сумме токсичных солей, а плотный остаток или общая сумма солей не дается, в отличие от других типов засоления, которые допустимо оценивать по сумме солей.

K pH водной суспензии.

K При наличии сокращенных водных вытяжек засоление почв можно оценивать по токсичным ионам, четко коррелирующим с суммой токсичных солей. Критерии оценки степени засоления почв по содержанию отдельных ионов приведены в табл. 11.

Таблица 14. Показатели, характеризующие гипсоносность почв

Показатель	INN Ipp	Градации, принятые для характеристики гипсоносных почв и гипсовых аккумуляций	
Содержание гипса			
CaSO_4 и $2\text{H}_2\text{O}$ в горизонте максимального скопления гипса в профиле почв, %	1 2 3 4	Слабогипсоносные Среднегипсоносные Сильногипсоносные Очень сильногипсоносные	2-10 10-20 20-40 > 40
Глубина расчленения верхней кровли гипсового горизонта, см			
	1 2 3 4 5	Поверхностно-гипсоносные Высокопрофильно-гипсоносные Среднепрофильно-гипсоносные Глубокогипсоносные Гипсоносные подстилающие породы	0-20 30-50 50-100 100-200 Глубже 200
Мощность гипсового горизонта, см			
	1 2 3	Маломощные Среднемощные Мощные	<30 30-100 >100
Размер и вид кристаллов гипса, мм			
	1 2 3 4	Мучнистый Мелкокристаллический (белые непрозрачные кристаллы) Среднекристаллический (желтоватые прозрачные кристаллы, гипс стекловидный) Крупнокристаллический и пластинчатый	<0,1 0,1-1 1-5 >5
Форма гипсовых аккумуляций и их морфологическая характеристика			
	1 2 3 4 5 6	Шестоватый (губчатый) гипс, гипсоносный горизонт рыхлый Мелкие конкреции гипса типа "пшеница", рисовых зерен", раздавливаются пальцами, напочинают скопление легкорастворимых солей. Гипсоносный горизонт часто рыхлый Мелкие (менее 1 см) плотные друзы из среднекристаллического гипса, в виде "червячков" пронизывают почву, закупоривают поры, резко уплотняя гипсовый горизонт Крупные друзы (более 1 см), пластинки гипса, представляет собой включения в почву Мучнистый гипс, образует сплошной почвенный горизонт, в сухом виде очень плотный, во влажном состоянии размокает и рассыпается Псевдопесок - сплошные прослои мелкокристаллического гипса	

1. Общие сведения о почвах: генетический тип, подтип, желательны также гранулометрический состав почв и пород и т.д. Информация берется с почвенных карт.

2. Сведения о засолении почв:

— почвы, незасоленные в слое 0–100 см;

— почвы, засоленные в слое 0–100 см.

Контуры с засоленными почвами на карте делятся на однородные и неоднородные по засолению. Однородные по засолению контуры характеризуются по степени засоления почв контура в целом. При этом определяется и указывается среднее засоление по выборке и другие статистические показатели.

В неоднородных контурах отдельно оценивается засоление почв каждого компонента. Указывается доля участия компонентов с разным засолением почв. Нецелесообразно характеризовать засоление неоднородного контура средними показателями.

Среди почв, незасоленных в слое 0–100 см, особо выделяются те, в профиле которых имеется солевой горизонт, но средневзвешенное засоление в этом слое позволяет отнести их к незасоленным.

На карте засоления по результатам химических анализов дополнительно может даваться информация о типе засоления, глубине залегания солевого горизонта, его мощности, строении солевого профиля, степени засоления почв в слое 100–200 см, а также почвообразующих и подстилающих пород. Однако эту информацию по снимкам получить невозможно. Она наносится на карту по результатам полевых исследований, переносится из других источников, либо экстраполируется.

Для районов распространения гипсоносных (или солонцовых)

почв на карте засоления дополнительно даются сведения соответственно о гипсоносности (или солонцеватости) почв. Эти данные могут быть показаны и на отдельной картограмме.

На крупномасштабных картах засоления приводится статистическая характеристика засоления почв с показом среднего арифметического ($\bar{X}$), среднего квадратичного отклонения (σ) и коэффициента вариации (V). Статистическая обработка данных выполняется для отдельно взятых контуров или группы однородных контуров, характеризующихся однородным засолением, т.е. относящихся в 80-90% случаев к одной градации по степени засоления. При этом статистические показатели рассчитывают по выборке, содержащей не менее пяти точек. При характеристике неоднородных контуров каждый компонент сложного контура должен получить самостоятельную статистическую оценку засоления почв с указанием процента участия этих почв в сложном контуре.

В итоге проведенной работы составляется почвенно-солевая карта с характеристикой засоления почв каждого выделенного на ней контура.

В легенду карты включается диагностическая таблица (табл. 8), в которой дается характеристика засоления всех вариантов фотонизображения, встречающихся в регионе, указываются общее число выработок, на основе которых характеризуется засоление почв основных типов контуров, а также дата проведения аэрофотосъемки и сбора полевых данных.

Если согласно диагностической таблице, зависимость между фотонизображением и засолением почв более 0,8, карта считается удовлетворительной по точности. В том случае, если связь менее тесная, требуется сбор дополнительной

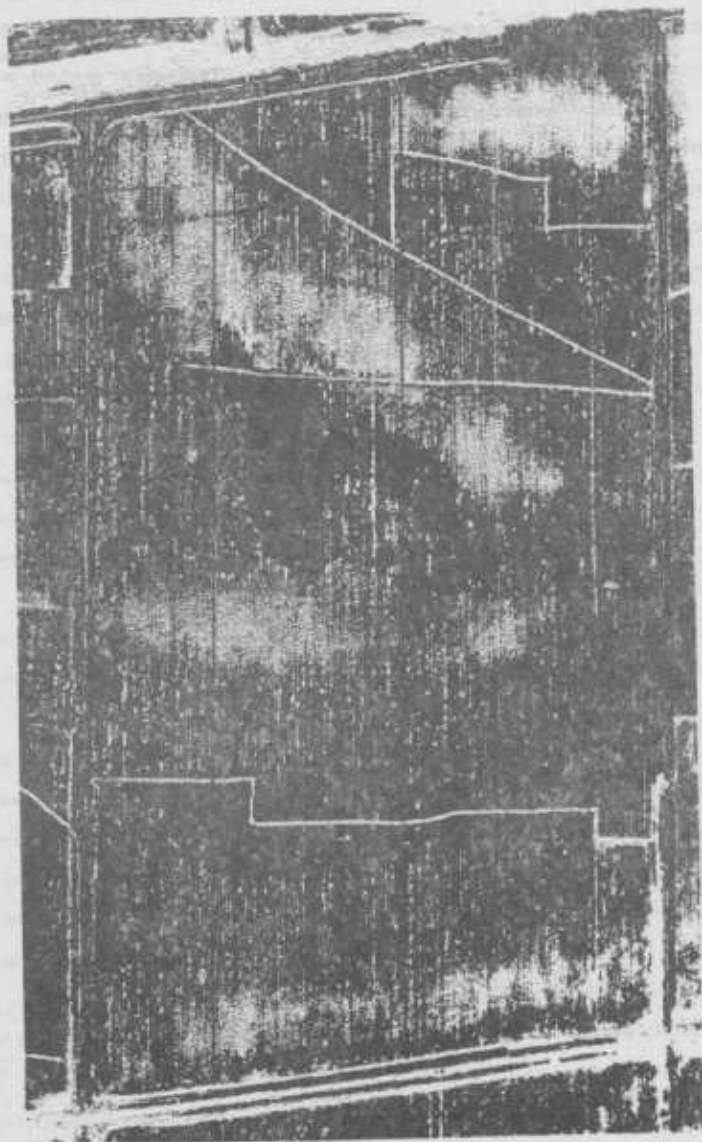


Рис. 14а. Аэрофотоснимок М. 1:5000 ключевого участка № 1

КАРТА ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ
КАСОВСКОГО РАЙОНА

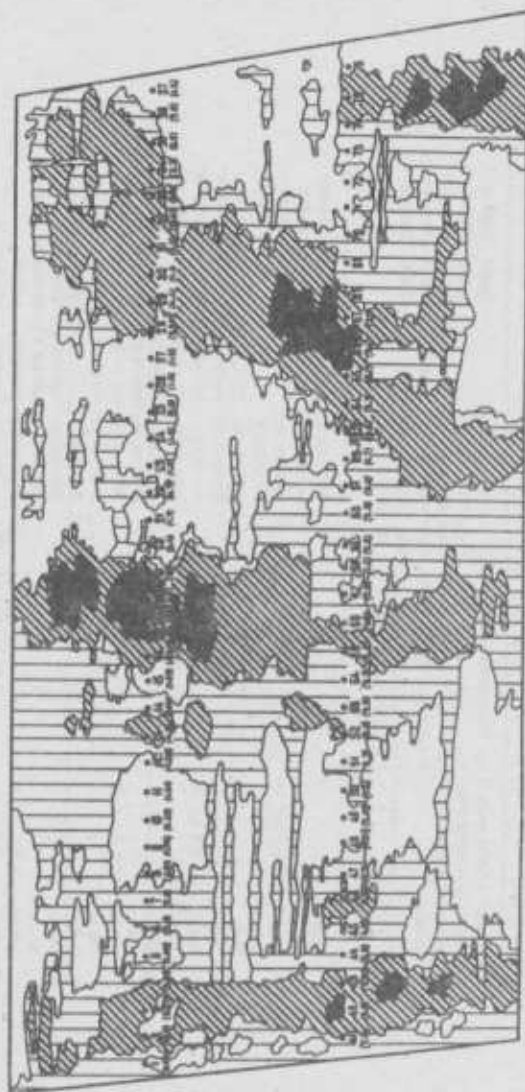


Рис. 146. Карта засоления почв Касовского участка № 1.

названной информации, позволяющей уточнить данные о связи засоления почв с фотонизображением. В качестве иллюстрации приведем почвенно-солевую карту, составленную по изложенной методике (рис. 14). Статистическое обоснование выделенных контуров проводится следующим образом:

1. Определяются основные типы фотонизображения. Например: контуры однородного тускло-серого тона с белым крапом, занимающим <5% площади, контуры белесого тона с темным крапом <20% и т.п. Тип фотонизображения можно разделить на несколько классов, например, отдельно выделить темный фон и мелкие белые пятна (в словных неоднородных контурах).

2. Для каждого класса выписываются все скважины, заложённые на картируемой территории, и аналитические данные по ним (обычно средневзвешенное засоление в слое 0-100 см). Затем определяется среднее арифметическое и доверительный интервал по этой выборке.

3. Среднее арифметическое определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}, \quad \text{где}$$

$\bar{x}$ — среднее арифметическое;

a — средневзвешенное засоление в каждой скважине;

n — число скважин (объем выборки).

4. Доверительный интервал определяется следующим образом: $Мд.ч. = \bar{x} + t_p m$; $Мд.ч.$ — доверительные границы возможного значения среднего арифметического, t_p — величина t Стьюдента, соответствующая заданной вероятности при $P = n - 1$. Величина t_p берется из таблицы 15. Обычно используют вероятность 0,95, за незначительно возможную принимается вероятность, равная 0,8;

Таблица 15. Значения критерия Стьюдента t при различном числе степеней свободы (Дмитриев, 1972 г.)

NN	Доверительная вероятность P									
	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,998	0,999	0,999	0,999
1	1,00	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66	318,30	636,60		
2	0,82	1,89	2,92	4,30	6,96	9,92	22,32	31,60		
3	0,76	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	10,21	12,94		
4	0,74	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60	7,17	8,61		
5	0,72	1,48	2,02	2,57	3,56	4,03	5,89	6,86		
6	0,72	1,44	1,94	2,45	3,44	3,71	5,21	5,96		
7	0,71	1,42	1,90	2,36	3,00	3,50	4,78	5,40		
8	0,71	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	4,50	5,04		
9	0,70	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	4,30	4,78		
10	0,70	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	4,14	4,59		
11	0,70	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	4,02	4,44		
12	0,70	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06	3,93	4,32		
13	0,69	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01	3,85	4,22		
14	0,69	1,34	1,76	2,14	2,62	2,98	3,79	4,14		
15	0,69	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	3,73	4,07		
16	0,69	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	3,69	4,02		
17	0,69	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,65	3,96		
18	0,69	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,61	3,92		
19	0,69	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,58	3,88		
20	0,69	1,32	1,72	2,09	2,53	2,84	3,55	3,85		
21	0,69	1,32	1,72	2,08	2,52	2,83	3,53	3,82		
22	0,69	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82	3,50	3,79		
23	0,68	1,32	1,72	2,07	2,50	2,81	3,48	3,77		
24	0,68	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,47	3,74		
25	0,68	1,32	1,71	2,06	2,48	2,79	3,45	3,72		
26	0,68	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,44	3,71		
27	0,68	1,31	1,70	2,05	2,47	2,77	3,42	3,69		
28	0,68	1,31	1,70	2,05	2,47	2,76	3,41	3,67		
29	0,68	1,31	1,70	2,04	2,46	2,76	3,40	3,66		
30	0,68	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,38	3,65		
40	0,68	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	3,30	3,55		
60	0,68	1,29	1,67	2,00	2,39	2,66	3,23	3,46		
120	0,68	1,28	1,66	1,98	2,36	2,62	3,16	3,37		
∞	0,67	1,28	1,64	1,96	2,33	2,58	3,09	3,29		

и - ошибка среднего арифметического;

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \dots + (\bar{x} - x_n)^2}{n-1}}$$

$\sigma = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$, где σ_{n-1} - дисперсия,

Если доверительные интервалы выделенных классов не пересекаются, то можно сделать вывод об удовлетворительном их выделении (рис. 15), если они совпадают или сильно (>80%) пересекаются, то классы по засолению не различаются и подлежат объединению (рис. 16). Если классы пересекаются менее, чем на 80%, или их объединение неприемлемо, следует увеличить число выработок, т.е. провести в поле сбор дополнительных данных о засолении почвы.

На первом этапе создания карты диагностические таблицы составляются для каждого почвенно-диолого-геоморфологического района отдельно, так как закономерности засоления почвы в разных районах могут проявляться по-разному. На заключительном этапе эти таблицы объединяются в общую, на основе которой разрабатывается легенда к карте.

Диагностические таблицы позволяют обосновать надежность экстраполяции данных на всю картируемую территорию.

Почвенно-солевая карта, составленная для целей мониторинга, должна отвечать определенным требованиям. По ней обычно считаются площади почвы разного засоления, т.е. проводится инвентаризация засоленных почв, и одновременно карта служит основой для дальнейшей работы - изучения динамики засоления почв. В связи с этим почвенно-солевая карта обязательно составляется на плановой основе (на фотопланах), либо результаты дешифрирования аэрофотоснимков переносятся на топокарту или землеустроительный план. Это необходимо для подсчета площадей почвы разного засоления. На

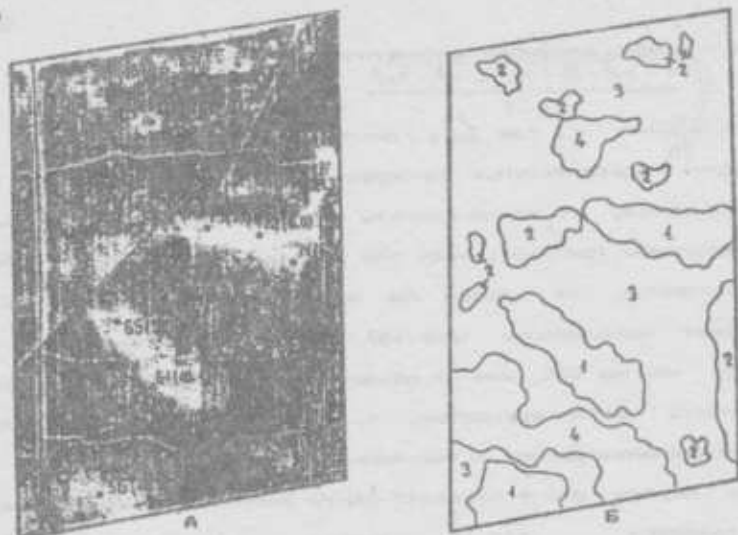


Рисунок 15. Пример 1 статистического анализа данных полевых работ

А - Аэрофотоснимок с точками заложения скважин. В скобках - средневзвешенное засоление в слое 0-100 см;
Б - карта-гипотеза на эту территорию, где 1 - круглые белесые пятна - выпад > 1 г; 2 - белесые пятна - выпад $0,25-1$ г; 3 - неслкопактные контуры белого крапа 10-20%; 4 - однородный темный тон.

Статистическое обоснование выделенных контуров: после знака + первая цифра - доверительная вероятность 0,80, в скобках - 0,95

Класс 1, $n=7$, $\bar{x}=6,9 \pm 1,2(2,0)$; класс 2, $n=7$, $\bar{x}=4,1 \pm 0,6(1,0)$

Класс 3, $n=5$, $\bar{x}=1,46 \pm 0,3(0,5)$; класс 4 $n=3$ $\bar{x}=0,6 \pm 0,1(0,25)$

Статистический анализ выделенных контуров, показывает, что определенные во время предварительного дешифрирования классы не пересекаются и их выделение можно признать удовлетворительным.

Рисунок 16. Пример 2 статистического анализа данных полевых работ

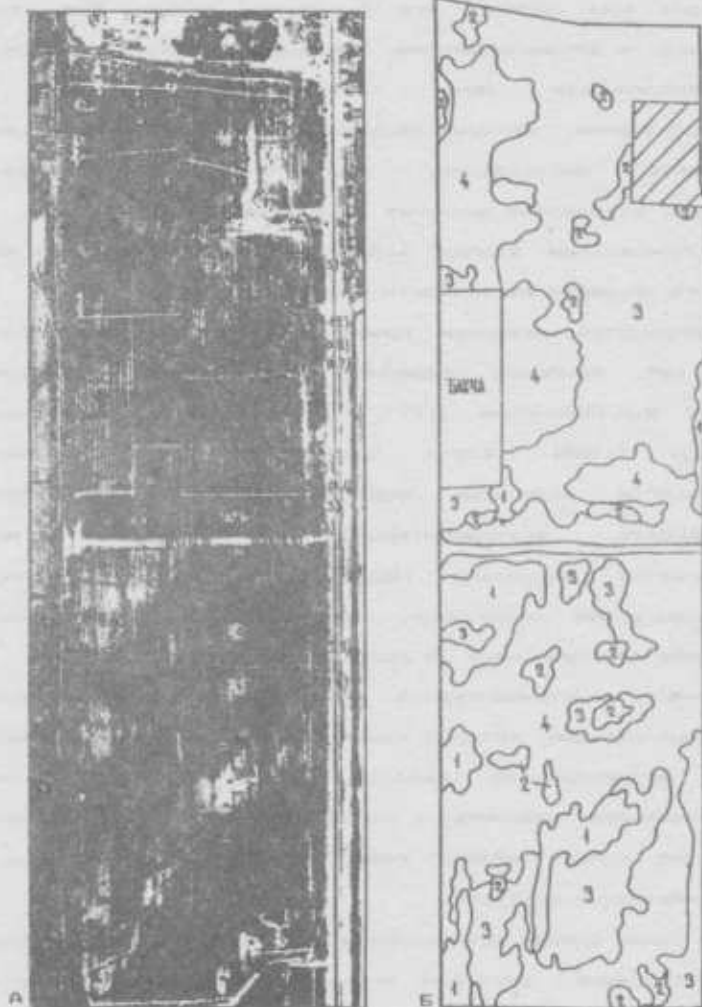
А - Аэрофотоснимок с точками заложения скважин. В скобках средневзвешенное засоление в слое 0-100 см;

Б - карта-гипотеза на эту территорию, где
1 - круглые белесые пятна - выпад > 1 г;
2 - средние белесые пятна - выпад $0,25-1$ г;
3 - неслкопактные крапчатые контуры, белого крапа 10-20%;
4 - темные однотонные контуры, белого крапа 10%.

Статистическое обоснование выделенных контуров: после знака + первая цифра - доверительная вероятность 0,80, в скобках - 0,95

Класс 1, $n=11$, $\bar{x}=11,72 \pm 2,7(4,4)$; Класс 2, $n=7$, $\bar{x}=8,75 \pm 2,8(4,8)$

класс 3: 3А $n=11$ (темный фон) $\bar{x}=1,09 \pm 0,25(0,4)$ 3Б $n=9$ (нел-
кий белый крап) $\bar{x}=1,5 \pm 0,7(1,1)$



Класс 4 $n=13$ $\bar{y}=1,30-0,2(0,35)$

Статистический анализ выделенных контуров, показывает, что класс 1 пересекается с классом 2 примерно на 50%; а классы 3А, 3Б и 4 еще более близки между собой. В этом случае нельзя сделать вывод о достоверности карты и необходимо либо объединить классы 1 и 2 и классы 3А с 3Б и 4, либо провести дополнительные работы для обоснования выделенных классов.

фотопланы или снимках все выработки должны быть точно привязаны к фотонизображению. Карты должны содержать данные о засоленности почв контуров, различающихся по фотонизображению, которые позволили бы при повторной съемке установить достоверные, статистически обоснованные различия, отражающие динамику засоления почв.

Заключительным этапом работы с картой засоления почв является проверка ее точности и кондиционности.

Общепринятой методики проверки точности составленной карты нет. Наиболее подробно этот вопрос рассмотрен в работах Н.П.Сорокиной (1977, 1986), Шишова, Сорокиной, Панковой (1989). Карта проверяется с точки зрения правильности выделения контуров и с точки зрения правильности внутриконтурной характеристики. Ниже предлагается несколько подходов к оценке точности внутриконтурной информации, отраженной на карте, точности наведения контуров нами не рассматривается.

Точность внутриконтурной информации может быть оценена табличным методом, который заключается в составлении таблиц частот встречаемости (табл.16, по Сорокиной, 1977). Этот метод позволяет выяснить, с какой точностью характеризуется засоление почв в пределах выделенных на карте различных по фотонизображению контуров.

Для такой оценки все данные о засолении почв по массиву, соответствующие контурам определенного фотонизображения, объединяют в одну выборку и выясняют, какой процент из общего количества точек, привязанных к контурам определенного фотонизображения, не соответствует засолению, показанному на карте (табл.16). Например, из общего количества точек ($n=30$), характеризующих контуры с

Таблица 16. Частота встречаемости (оценка вероятности) основных вариантов засоленных почв (таблица для определения точности оценки засоления почв характеризующих контуров по Н.П.Сорокиной (1977))

Фотообразы (тон, рисунок)	Засоление по Na ⁺ , мг-экв/100г почвы				Засоление почв
	<2	2-6	6-12	>12	
Темно-серый	0,93	2			30 1,00
Мелкопятнистый	0,83	5			30 1,00
Темный		0,17			Преимущественно слабозасоленные, редко средnezасоленные
Светлый	0,33	20			30 1,00
Темный		0,86	4		30 1,00
Светлый		0,07	20	8	30 1,00
			0,66	0,27	Преимущественно средnezасоленные, редко - сильнозасоленные. Сильно- и очень сильнозасоленные, редко - средnezасоленные
Крупнопятнистый		0,67	10	0,33	30 1,00
Светлый			0,50	0,50	30 1,00
Однородный			0,17	0,83	30 1,00

Примечание. Числитель - количество выработок, характеризующих указанный засоленный элемент; знаменатель - встречаемость, % от общего числа выработок, характеризующих контур.

незасоленными и слабозасоленными почвами однотонного тенного фотоизображения, 93% точек соответствует засолению, показанному на карте. Следовательно, можно считать, что оценка засоления этих контуров дана на карте с высокой степенью надежности (более 90%).

Этим же методом можно пользоваться при полевой проверке точности характеризуемых контуров. Для этого в пределах проверяемого контура (или типа контуров) закладываются не менее девяти дополнительных скважин, и данные, полученные по этим скважинам, сопоставляются с данными, отраженными на карте. Если информация, отраженная на карте и полученная на основе проверочных скважин, совпадает на 90% и более, то точность информации карты оценивается как высокая, если ниже 70%, то точность карты считается низкой, и она требует уточнения. Н.П.Сорокина предложила также и следующий метод оценки точности составленной карты. Все контуры карты оцениваются по точности: наиболее точными считаются контуры, имеющие назенную аналитическую информацию о засолении почв. Оценка их точности принимается за единицу. На основе диагностических таблиц методом экстраполяции определяется точность остальных контуров карты. Они соответственно могут иметь разную точность. Так, если тенные однородные контуры в 90% случаев относятся к незасоленным почвам, то контуры, выделенные по аналогичному фотоизображению, но не имеющие назенного подтверждения, считаются охарактеризованными с точностью 0,9. Далее учитывается процент площади карты, имеющей тот или иной уровень точности, и выводится средняя точность всей карты, где T_k - точность карты; $T_k = \frac{T_1 \cdot S_1 + T_2 \cdot S_2 + \dots + T_n \cdot S_n}{100}$,
 $T_1, T_2, \dots, T_n$ - точность характеристики засоления почв

контуров;

$S_{1,2,\dots,n}$ - площадь почв.

Если карта характеризуется точностью $>0,7$, то можно считать, что точность ее удовлетворительная. В противном случае нужны дополнительные работы.

При оценке кондиционности составленной карты мы исходили из следующего положения. Карту можно считать кондиционной, если она составлена на основе аэрофотоснимков, отвечающих определенным (указанным выше) требованиям, а затем привязана к плановой основе (фотоплану или топокарте), обеспечена аналитическими данными, и достоверность отражения засоления почв основных контуров, выделенных на карте, имеет уровень надежности более 70%.

Объем аналитических данных, необходимый для составления карты, зависит от масштаба съемки и стадии выполнения солевой съемки. Если для цели мониторинга солевую съемку по аэрофотоснимкам проводят впервые, то общее количество выработок и образцов для ее обоснования должно соответствовать требованиям, предъявляемым к почвенным картам соответствующего масштаба, согласно принятым нормативным документам (табл. 7). При этом в расчет включаются все выработки, обосновывающие дешифровочные признаки, заложенные в ходе маршрутных исследований, и проверочные скважины.

Если карта засоления составляется по аэрофотоснимкам повторно на территорию, для которой уже имеется кондиционная первичная почвенно-солевая карта того же масштаба, то объем названной информации может быть значительно сокращен. Вопрос об уменьшении числа выработок при использовании аэрофотоснимков пока нельзя считать

решенный. Он требует дополнительной проверки и обоснования. Число выработок может быть несомненно уменьшено в пределах контуров, для которых доказано, что фотоизображение тесно коррелирует с засолением почвы с надежностью 85-90%. В этом случае при повторных солевых съемках можно вообще практически отказываться от наземных работ.

По данным ФАО (1979), при почвенных съемках, выполняемых на основе аэрофотоснимков, рекомендуется значительно большее число почвенных выработок, чем в наших нормативных документах (табл. 7). Это дает нам основание считать, что эффективность применения аэронетодов нельзя оценивать только с точки зрения уменьшения объема работ по наземному исследованию территории. Материалы аэросъемки позволяют значительно уточнить составленные карты за счет повышения точности выделяемых контуров, видимых на снимках и невидимых на других картографических основах. Поэтому мы подходим к рекомендации по уменьшению числа выработок крайне осторожно, считая главным достоинством первичной карты засоления, составленной по аэрофотоснимкам для целей мониторинга, обоснованность выделенных на ней контуров и точную привязку выработок к фотоизображению.

Итак, первый этап мониторинга засоления почвы заключается в получении максимально объективной и точной информации о засолении почвы на основе материалов дистанционного зондирования. Он завершается составлением карты засоления почвы (масштаб 1:10000) и получением сведений о площадях почвы, характеризующихся разным засолением.

Изложенная выше технология составления почвенно-солевых карт на основе аэрофотоснимков была проверена нами на массовом материале на территории Голодной степи и в других

регионах Средней Азии. Мониторинг засоления почв предполагает проведение точного учета засоленных почв и подсчета площадей почв разного засоления по крупномасштабным картам, составленным с использованием снимков масштаба 1:10000. Это позволит получить информацию о засолении почв каждого конкретного поля.

Использование материалов космической съемки для оценки засоления почв

Нами специально изучалась возможность использования материалов космической съемки для характеристики орошаемых почв Средней Азии и, в первую очередь, их засоления. В настоящее время все большее значение в решении народнохозяйственных задач приобретает космическая съемка, обзорность и оперативность которой дает ей определенное преимущество перед аэрофотосъемкой. Особое значение приобретает сканерная съемка, но по-прежнему широко применяется и космофотосъемка. Фотоизображение, полученное на основе космической съемки, несет достаточно обширную информацию о природных ресурсах, в том числе почвах и их засолении (Виноградов, 1981, 1984; Вышивкин, 1975; Кравцова, 1977; Зонн, 1975; Антонова, Кравцова, 1976; Андроников, 1979; Енелиянов и др, 1980; Харин, 1980; Панкова, Головина и др., 1986; Панкова, Соловьев, 1987).

Анализ зарубежной литературы также свидетельствует об использовании материалов космической съемки, в том числе многозональных снимков для выявления очагов вторичного засоления и получения информации о засолении почв (Manual of Remote Sensing, 1983).

Первоначальная задача нашей работы заключалась в том, чтобы определить объем информации, которую можно получить о почвах орошаемых территорий с помощью визуально-инструментального метода дешифрирования космических снимков. Для решения этой задачи анализировались следующие материалы космической съемки среднего разрешения: черно-белые панхроматические снимки,

спектрозональные и цветные снимки, многозональные снимки в зеленой, красной и инфракрасной зонах. Использовались материалы раннелетних и осенних сроков съемки. Объектами исследования были орошаемые почвы Таджикистана и Узбекистана. Первоначально на снимках выделялись фотоконтуры, почвенная характеристика которых давалась на основе Государственной почвенной карты СССР и других имеющихся в нашем распоряжении материалов.

Было установлено, что не все контуры, выделяемые на снимках, отражены на существующих почвенных картах, и в то же время часть контуров, выделяемых на почвенных картах, не видна на снимках. Так, на Государственной почвенной карте выделено одиннадцать вариантов орошаемых почв, которые далеко не всегда можно распознать на снимках. Дешифровочные признаки орошаемых почв, в том числе вторичных солончаков, выделяемых в пределах орошаемых массивов, приведены в таблице 17.

Анализ результатов дешифрирования различных материалов космической съемки позволил установить следующее (Панкова, Соловьев, 1987). На всех анализируемых снимках почвы орошаемых территорий четко отделяется от неорошаемых по рисунку фотонизображения и тону. Орошаемые территории характеризуются пестро-клетчатым рисунком: клетки соответствуют орошаемым полям, а неоднородность цвета и тона связаны с культурой севооборота, их различными спектральными характеристиками. Наиболее резко орошаемые территории отличаются от неорошаемых на снимках летне-осенних залетов. Наиболее четко они выделяются при визуальном дешифрировании на многозональных снимках инфракрасной зоны. На этих снимках орошаемые поля

Таблица 17. Дешифровочные признаки орошаемых почв аридных территорий по материалам космической фотосъемки К

Объект дешифрирования - почва, известна на Государ- ственной почвенной карте	Восстановление на снимках				
	Спектро- (Цветной) / Панхро- (Спектральный)		Цветной		Панхро- мический
	зональный	лет- неской			
	рисунок		тон, цвет		
1. Староосвоенные луговые КП			Темно-фиолетовый,		
2. Староосвоенные светлоосвоенные с КП	Неупорядоченный невысокий		сний		
3. Староосвоенные типичноосвоенные с КП	(площадь поля на снимке > 1 кв. км)		Желто-фиолетовый, голубой	Темно- зелено- като- серый	Темно- серый
4. Староосвоенные темноосвоенные с КП			Желто-розовый, голубой		
5. Лугово-болотные орошения Б л ор					
6. Лугово-серые орошения С ор л					
7. Серозны светлые орошения С 1 ор	Упорядоченный крупно- клетчатый (площадь на снимке > 1 кв. км)			Зелено- като- серый	Темно- серый
8. Серозны типичные орошения С лр 2					
9. Серозны тонкие орошения С 3					
10. Серозны светлые солонхазовые ок С	Пятнистый		Темно-фиолетовый, с белесыми пятнами	Зеленокато- серый с белесыми пятнами	Темносерый с белесыми пятнами
11. Солончаки Сх			Фиолетовый с белесыми пятнами	Светло-серый пятнистый	Серый с бе- лесыми пят- нами и раз- водами

К Спектрально-цветные снимки раннелетнего срока съемки;
цветные - летне-осеннего; панхроматические - преимущественно
летне-осеннего.

изображается светлым тоном.

По различиям в рисунке фотонизображения, обусловленным размерами и конфигурацией полей, на любых снимках орошаемые земли могут быть разделены на 1) староорошаемые с мелкоячеистым неупорядоченным рисунком (площади полей на снимке менее 1 км²), 2) относительно недавно освоенные с упорядоченным крупноячеистым рисунком с четкой ориентацией полей относительно оросительной и дренажной сети. Наиболее четко это различие проводится по открытой поверхности (т.е. по весенним снимкам) или по многозональным снимкам инфракрасной зоны.

По тону фотонизображения орошаемые территории можно разделить на более увлажненные и менее увлажненные. Более увлажненные на спектрально-зональных снимках весенних сроков характеризуются более интенсивными фиолетовыми тонами, а менее увлажненные — розовато-палевыми. На многозональных снимках наиболее увлажненные территории четко выделяются по снимкам инфракрасной зоны.

По рисунку и тону фотонизображения среди орошаемых территорий отчетливо выделяются засоленные почвы — по наличию светлых округлых диффузных пятен, которые нарушают общий клетчатый рисунок фотонизображения орошаемых земель. На космических снимках среднего разрешения визуально видны лишь крупные пятна-выпады (размером более 1 га), соответствующие сильному засолению почв в слое 0–100 см. Слабо- и средnezасоленные, а также солончаковатые или глубокосолончаковатые почвы при визуальном дешифрировании космических снимков не опознаются. Фотогенерализация не позволяет на снимках миллионного масштаба увидеть мелкие и средние пятна (размером менее 1 га), а также оценить

влияние их на общий тон фотоконтура. Для этой цели необходимо использовать метод навиженного дешифрирования. Однако орошаемые земли, подверженные сильному засолению почв, достаточно четко опознаются и визуально. Этот подход к анализу космических снимков был использован нами при составлении Картоосхемы распространения сильнозасоленных почв на орошаемых территориях Средней Азии (рис.17) (Панкова и др., 1986). Следует указать, что подобный метод используется и в зарубежной практике (Tharnat Kamei и др., 1986). Это подтверждает возможность использования космических снимков для получения общего представления о засолении почв орошаемых массивов.

Нами для составления картоосхемы распространения и процентного участия сильнозасоленных почв на орошаемых землях Средней Азии были использованы космические черно-белые панхроматические снимки среднего разрешения и фотопланы 1972-1982 гг. преимущественно осенних сроков съемки.

В зависимости от процентного участия в фотонизображении белых пятен-выпадов земли орошаемых территорий были разделены на три категории. При этом мы учитывали только диффузную пятнистость, которую связывали с засолением. Светлые пятна правильной прямоугольной формы, соответствующие открытой поверхности распаханного поля, не учитывались.

В первую категорию вошли территории, давшие сильнопятнистое фотонизображение на площади около 50%. Эти земли отличаются крайне неудовлетворительным (плохим) нелюдиативным состоянием и преобладанием сильнозасоленных почв. Во вторую категорию включены орошаемые земли, которые



Рис. 17. Картограмма распространения сильнозасоленных почв на орошаемых землях Средней Азии (составлена по материалам космической фотосъемки Е. И. Панковой, Н. Н. Головиной при участии В. К. Вочкова и В. М. Бочковой)

Орошаемые бассейны: 1-Ферганская долина; 2-Голорная степь (старая зона орошения); 3-То же, новая зона и Дельта; 4-Самаркандский оазис; 5-Бухарский оазис; 6-Каракульский массив; 7-Среднее течение р. Анудары; 8-дельта р. Мургаб; 9-Каршинская степь; 10-Вахшская долина; 11-дельта и долина р. Анудары; 12-дельта и долина р. Теджен; 13-Прикопетагская равнина; 14-Ташкентский оазис; 15-Сурхандарьинская долина; 16-Чуевская долина; 17-Несккульская котловина; 18-Гиссарская долина; 19-Намкенгадрынганская долина; 20-долина рек Кызыл-Су и Як-Су; 21-Яванская и Оби-Кинская долина; 22-Бешкентская долина; 23-Дангаринский массив; 24-Пандаский массив.

Доля участков, сильнозасоленных: 1 - более 50 %; 11 - 20-50 %; 111 - менее 20 %

на снимках также выглядят неоднородными, но участие светлых пятен здесь значительно меньше, в контурах преобладают темные пятна. Эти территории подвержены сильному засолению на площади от 20% до 50%, поэтому они были оценены как почвы с условно удовлетворительным нелиоративным состоянием. Третья категория земель характеризуется удовлетворительным состоянием. По фотонизображению эти земли оцениваются как относительно однородные, темного фототона, светлые пятна обычно имеют четкую конфигурацию и связаны с полями севооборотов. Выбросы посевов, связанные с засолением, не превышает 20% площади. В эту категорию входят массивы орошения, почвы которых могут иметь разную степень засоления — от незасоленных до сильнозасоленных, но доля сильнозасоленных почв, как правило, невелика.

При оценке засоления почв по космическим снимкам нас интересовали, в первую очередь, методические вопросы: можно ли по космоснимкам оценить засоление орошаемых почв, как это сделать и что нужно при этом учитывать.

Мы оценивали засоление почв на основе анализа фотонизображения относительно старых космических снимков (1972-1982 гг.), не вводили поправок на разновременность снимков для разных районов и не учитывали водно-солевой прогноз орошаемых территорий. Таким образом, снимки не всегда отвечали необходимым требованиям. Поэтому данные о засолении почв, полученные нами на основе анализа составленной карты, должны рассматриваться как ориентировочные, дающие только общее представление о ситуации, сложившейся на орошаемых землях Средней Азии в период 1972-1982 гг. Однако в результате проведенных работ мы пришли к выводу, что космические снимки среднего

разрешения можно использовать для оценки засоления почв, хотя при визуальном дешифрировании они дают менее точные сведения, чем материалы аэрофотосъемки. Космические снимки можно использовать для составления обзорных карт, на которых отражаются ареалы распространения засоленных почв. Инвентаризацию засоленных почв по космическим снимкам среднего разрешения проводить нельзя.

Машинное дешифрирование космических фотоснимков несомненно может повысить точность и объективность работ. Это актуально не только для космических снимков, но и для аэроснимков.

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИКИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Общие требования к повторным солевым съемам

Изучение динамики засоления почв составляет содержание второго этапа работы по мониторингу. Главным методом исследований на этом этапе являются повторные солевые съемы и сбор общей информации о природных и антропогенных факторах, влияющих на динамику засоления.

Засоленность — это наиболее чувствительная почвенная характеристика, позволяющая улавливать направленность почвенных процессов при орошении. Зная динамику засоления почв, можно прогнозировать их развитие в целом. Динамичность засоления — рассоления особенно орошаемых земель, а также большая пестрота засоления даже в пределах одного поля диктуют определенные требования к методам осуществления повторных солевых съемов.

Динамику засоления орошаемых почв можно разделить на два процесса. Первый — ритмика, т.е. сезонные изменения засоления. Второй — собственно динамика — достаточно длительный многолетний процесс, обусловленный особенностями геоморфологии, геоклимата района и специфической антропогенного воздействия на эту территорию.

Познание сезонной динамики засоления имеет большое значение для прогнозирования урожая. Однако современные технические средства, используемые нами в работе, не позволили методом дистанционной диагностики, т.е. на основе сопоставления фотонизображения разных сезонов года, получить

достоверную информацию о ритмике засоленности почв. Поэтому в настоящей работе сезонная динамика засоления не рассматривается. Главной задачей дистанционного мониторинга, решаемой нами, является установление многолетней динамики засоления орошаемых почв. Для этой цели в течение ряда лет раз в год (осенью) в сухой период проводятся повторные почвенно-солевые съемки, и результаты их сопоставляются. Однако эти съемки могут дать надежную информацию о динамике засоления (рассоления) почв массива орошения только в том случае, если они отвечают следующим условиям: проводятся по единой методике в один и тот же сезон, в одном масштабе, на основе материалов аэрофотосъемки, близких по техническим характеристикам. Как было сказано выше, первоначально на массиве орошения на основе материалов аэрофотосъемки, удовлетворяя указанным требованиям, проводят первичную почвенно-солевую съемку, по результатам которой составляют исходную карту засоления почв. С этой картой в дальнейшем и сравнивают материалы повторного картографирования. Дистанционный метод позволяет достоверно оценить засоление почв не ранее, чем через 5 лет после завершения мелиоративного строительства и ввода орошаемых земель в эксплуатацию. К этому времени почвы и почвенные процессы, нарушенные в результате планировок, поливов, подъема уровня грунтовых вод и т.п., достаточно стабилизируются. На полях достигается относительная равномерность полива, исчезает пятнистость полей, возникшая вследствие больших срезов почвы при планировке или в связи с неоднородностью агрохимических свойств. После 5-7 лет орошения складываются новые условия, отличные от тех, которые существовали до начала освоения. Именно эти новые условия и должны быть

зафиксированы на исходной (первичной) почвенно-солевой карте орошаемого массива, используемой для изучения динамики засоления почвы. Следующим этапом оценки солевой динамики будут повторные солевые съемки, выполненные на основе аэроснимков другого года съемки. Результатом должна стать новая солевая карта, на которой может содержаться информация только о засолении почвы. Это главная информация для определения динамики засоления. Учитывая, что зависимость между фотонизображением и засолением для данного района была проверена на первом этапе, при повторных солевых съемках полевые работы могут быть сокращены. Если результаты статистической обработки показали высокую достоверность оценки засоления почвы по фотонизображению, то объем полевых работ на следующих этапах может быть уменьшен очень значительно, вплоть до полного исключения названного обоснования информации, содержащейся на снимках некоторых сравниваемых лет.

На снимках, отвечающих названным выше требованиям, видны те изменения, которые произошли в почвах в результате их засоления или рассоления. Это позволяет использовать фотоснимки, полученные за много лет до начала исследований, и оценивать динамику засоления орошаемых почв за длительный период.

Методика оценки динамики солевых процессов по повторным солевым съемкам разработана в настоящее время значительно скорее, чем методика первого этапа работ мониторинга — инвентаризация засоленных почв. Пока еще очень мало публикаций, посвященных изучению динамики засоления почвы на основе аэрофотосъемки, хотя общие подходы к решению этой проблемы разработаны.

Наше рассмотрение опыта работы по выявлению изменений в засолении почв территорий Новой Зоны Осаждения (НЗО) Голодной и Джизакской степей на отдельных ключевых участках и на массиве орошения в целом.

Традиционные методы оценки динамики засоления почв

Территория НЗО Голодной степи обеспечена самыми передовыми в Средней Азии мелиоративными системами, построенными с использованием комплекса инженерных и гидротехнических сооружений. В каждом совхозе Голодной степи в среднем построено 150-200 км каналов, облицованных бетоном, лотков или трубопроводов, 500-600 км закрытого горизонтального дренажа и 50-100 км коллекторов. Выполнялись большие объемы планировочных работ и промывок (Духовный, 1973). Эта мелиоративная система была призвана обеспечить на всей территории НЗО Голодной степи формирование ирригационно-полугидронорфного водного режима, поддерживающего грунтовые воды на глубине около 3 м. Промывной режим орошения на фоне хорошо работающего дренажа должен был обеспечить прогрессирующее рассоление почв на всей орошаемых площадях.

Исследования, оценивавшие работу этих мелиоративных систем и позволяющих достоверно судить о процессах засоления - рассоления орошаемых земель, немногие. Как правило, эти сведения неполны и часто противоречивы, что свидетельствует о недостатках применяемых методов. Оценка динамики засоления почв до последнего времени часто дается по наблюдениям на ключевых участках, либо путем сопоставления площадей засоленных почв по массиву в целом. Так, А.В.Шуравинин (1969) отмечал улучшение солевого

состояния почв на территории Голодной степи и указывал, что в целом здесь происходит интенсивное рассоление. К аналогичному выводу пришел О.К.Канилов (1987), анализируя данные стационарных наблюдений института Средазгипроводхлоп, гидрогеологической службы и собственные материалы. А.С.Хасанов и Л.З.Шерфетдинов (1987) также диагностировали активное рассоление почв Голодной степи начиная с середины 70-х годов, отмечая, что в конце 70-х интенсивность рассоления существенно снизилась. В работе Е.И.Панковой, Е.А.Долгиной (1992) на основе сопоставления результатов исследований 1986-1989 гг. и данных В.М.Мазикова за 1972-1975 гг. (Мазиков, 1978), сделан вывод, что за этот период существенного улучшения почвенно-мелиоративной обстановки в НЗО Голодной степи не произошло. Наоборот, наблюдалось некоторое усиление засоления почв в центральной части этой зоны. Для количественной оценки активности процессов засоления почв была предложена классификация ФАО (1979), базирующаяся на измерении удельной электропроводности в экстрактах. Увеличение засоленности на 2-3 мСм/см в год говорит о средней интенсивности засоления почв; при 3-5 мСм/см в год - о высокой и в случаях более 5 мСм/см в год - об очень высокой. Указанные градации основаны исключительно на назенных исследованиях. Оценка интенсивности засоления дистанционным методом, вероятно, может базироваться на выявлении изменения степени засоления относительно исходного солевого состояния почв.

Свои исследования мы провели, основываясь на результатах работы, выполненной в 1989 г. по договору с институтом Совазгипроводхоз. В ней участвовали Е.А.Долгина, С.П.Евгеньева, Е.И.Панкова, Д.А.Соловьев, Г.А.Шершукоев,

И.А.Яннова. В итоге были составлены карты засоления почв НЗО Голодной и Джизакской степей на 1972-1975 гг. и такие же карты на 1988-1989 гг. В качестве первичных материалов использовались аэрофотоснимки 1972-1975 и 1988-1989 гг. и данные полевых работ тех же сроков. Дешифрирование всех снимков производилось одними и теми же людьми по единой технологии. Результаты полевых работ использовались для подтверждения границ контуров и уточнения степени засоления почв в контуре. Использование однотипных аэроснимков, единых дешифровочных признаков, выполнение работ одними дешифровщиками, большое количество полевых и аналитических данных позволяет уверенно сопоставлять результаты по оценке засоления почв в 70-х и конце 80-х годов.

Предварительное визуальное сравнение аэроснимков разных лет съема на территории Голодной степи позволило выделить четыре типа земель по проявлению динамики засоления.

1. Территории исходно хорошего нелиоративного состояния с незасоленными почвами, неподверженные или в слабой степени подверженные вторичному засолению. В качестве примера можно привести земли совхозов "Фергана", "Парвоз", часть земель совхоза им. Ворошилова, расположенных в центральной части НЗО Голодной степи.

2. Земли, исходно незасоленные, но в настоящее время подверженные вторичному засолению. Это территории совхозов, также расположенных в центральной части Голодной степи - им. У.Исупова, "Правда", им. Г.Гуляна и др.

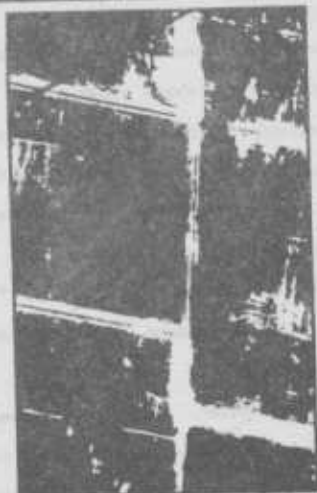
3. Территории, сильнозасоленные до начала освоения, в настоящее время нелиорированные и в основном находящиеся в хорошем состоянии. Это хозяйства, расположенные в южной части Голодной степи, - совхоз им. Ю.Гагарина, им.

1972г.

1986г.



А



Б

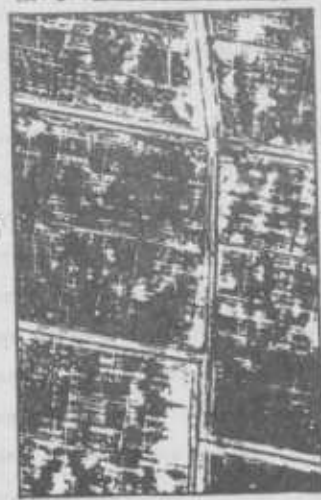


Рис. 18. Динамика засоления почв, установленная при сопоставлении фотонизображения полей хлопчатника по осенним аэрофотоснимкам

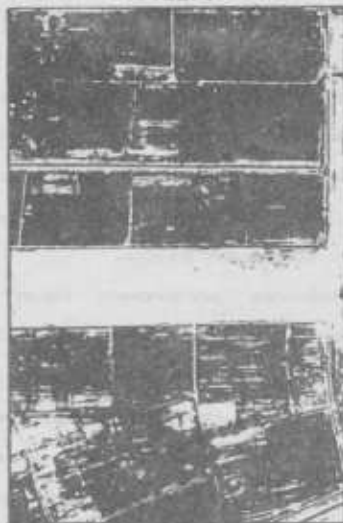
А - Почвы изначально незасоленные (1972); вторичному засолению подверженные очень слабо (1986г.), нелиоративное состояние стабильно хорошее;

Б - Почвы изначально незасоленные (1972); в 1986г. наблюдается интенсивное засоление и ухудшение нелиоративного состояния;

1972г.

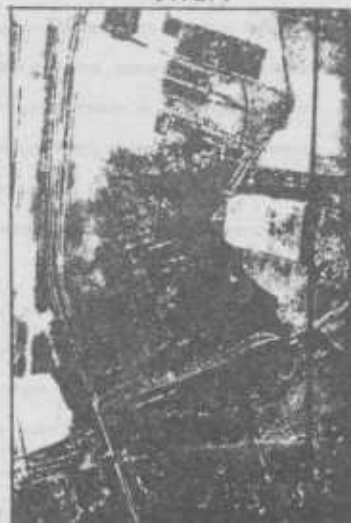


1986г.



В

1975г.



1986г.



Г

В - Почвы исходно сильнозасоленные (1972); в 1986г. отмечается слабое засоление и улучшение мелиоративного состояния;

Г - Почвы исходно сильно засолены (1975); в 1986г. сильное засоление почв сохраняется; мелиоративное состояние - стабильно плохое

Г.Титова, ил. Алексеевского и некоторые другие.

4. Территории, исходно сильнозасоленные, котоме до настоящего времени не удается мелиорировать в связи с небольшим сроком их освоения (совхозы джизакской степи, такие, как "Кочинчи", "Азербайджан", "Галаба" и др.), либо из-за сильной гипсомности почв, как в юго-восточной части Голодной степи.

Диагностика засоления почв по фотонизображению может быть оценена как в целом для природного района, так и для различных его частей, вплоть до отдельного поля. В качестве иллюстрации приведен изображения полей, отнесенных нами к пяти типам земель (рис.18).

Полевые исследования с использованием снимков масштабов 1:25000 и 1:10000 показали практически повсеместную очень большую пестроту засоления. На каждом поле, подверженном засолению, можно было выделить почем трех-четырех степеней засоления. Поэтому была проведена генерализация контуров с учетом доли участия в контуре почв различных степеней засоления, а масштаб карт уменьшен до 1:50000. Карты составлены на всю территорию НЭО Голодной и Джизакской степей. Фрагменты карт засоления приведены на рис.19.

Материалы полевых работ тех же лет позволили обосновать выделение по снимкам контуры, что, безусловно, повысило достоверность информации, полученной путем сравнения этих карт. Сравнивали засоление почв как массивов в целом, так и основных почвенно-литолого-геоморфологических районов. Отдельно сопоставляли территории, расположенные в границах земель, орошаемых в 1975 г. (табл.18, рис.20).

На наземном комплексе КИМ-И института Совхозпроводхоз были подсчитаны площади всех контуров, выделенных на этих

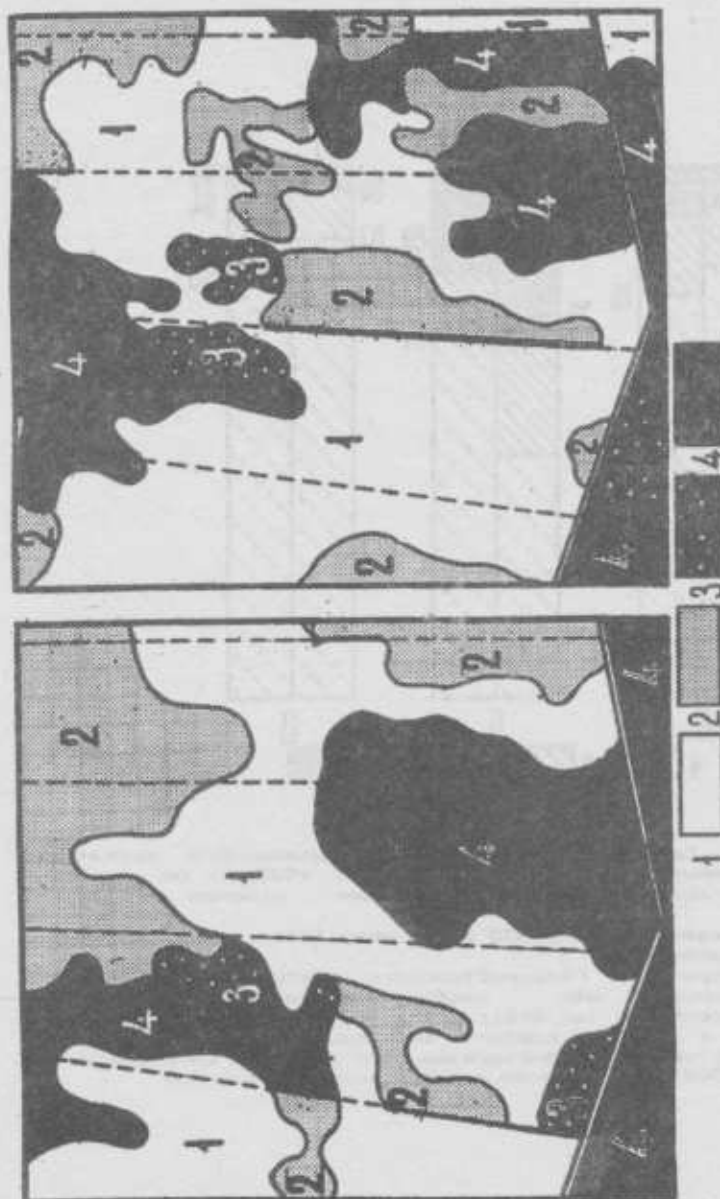


Рис. 19. Фрагменты карт засоления почв на одну и ту же территории:
 А - 1975 г., Б - 1989 г. Легенда: 1 - преимущественно незасоленные и слабозасоленные; 2 - преимущественно средnezасоленные с участками слабозасоленными; 3 - преимущественно средnezасоленные с участками сильнозасоленными; 4 - преимущественно сильнозасоленные

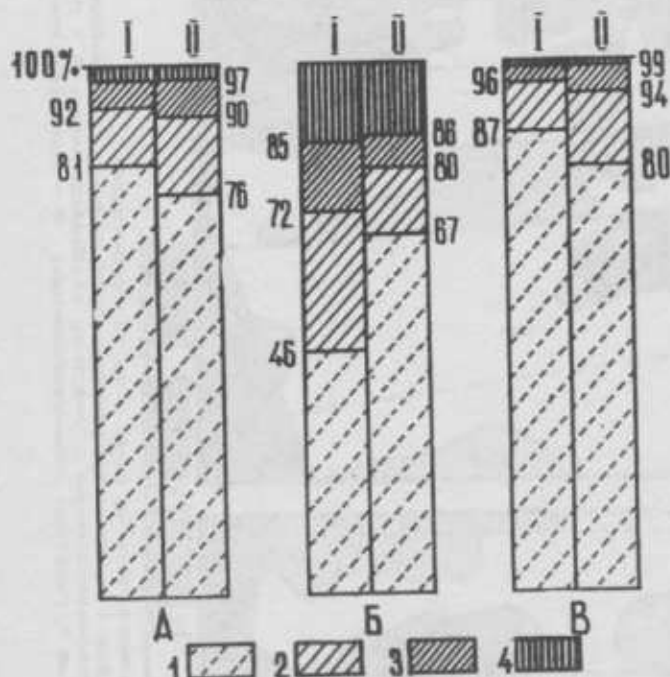


Рис. 20. Сравнение площадей почв различного засоления, подсчитанных по картам 1975 и 1986 гг. по основным почвенно-литолого-геоморфологическим районам Голодной степи:

А - орошаемый массив НЗ0 в границах 1976 г.; Б - территория сазовой зоны НЗ0;

В - территория Голодноостепского плато НЗ0. Почвы: 1 - незасоленные или слабозасоленные с участием средnezасоленных (до 50%); 2 - преимущественно средnezасоленные с участием слабо- и сильнозасоленных (до 25%); 3 - преимущественно средnezасоленные с участием сильнозасоленных (25-50%); 4 - сильно- и очень сильнозасоленные

Таблица 18. Площади почв разной степени засоления НЭО Голодной степи на 1976 г. и 1988 г. (в границах орошения на 1975 г.)

Почвы и другие земли	Год	
	1975-1976	1988-1989
Незасоленные или слабозасоленные с участием среднезасоленных (до 50 %)	16463,58 78,1	152828,28 72,5
Принудительно среднезасоленные с участием слабо- и сильно засоленных (до 25 %)	23340,15 11,0	30070,21 14,3
Принудительно среднезасоленные с участием сильнозасоленных (25-50 %)	10277,84 4,9	13582,68 6,5
Сильно- и очень сильнозасоленные	6315,34 3,0	6563,56 3,1
Территории центральных усадеб совхозов	4676,02 2,2	6187,62 2,9
Пески	1605,0 0,8	1379,58 0,7
Массив в целом	210877,93 100	210877,93 100

Примечание. Числитель - га, знаменатель - % общей площади массива.

картах (в одних и тех же границах, табл.19, 20).

Чтобы упростить сравнение данных, все выделенные контуры были сгруппированы в четыре основных группы земель. Результат этого сравнения представлен в табл.21. Это те данные, на которых и был основан вывод о стабильности нелиоративной обстановки в Голодной степи с небольшой тенденцией в сторону увеличения площадей почв высокой степени засоления. Действительно, колебания площадей наивысшие в целом ограничены несколькими процентами. Такие изменения вполне сопоставимы с ошибкой данного метода (1-2%) и колебаниями засоления, связанными с различиями в количестве осадков и другими климатическими колебаниями сравниваемых лет.

Однако даже визуальное сравнение карт 1975 и 1989 гг. выявило существенные различия в расположении и конфигурации контуров. Для оценки этих различий нами была составлена карта динамики засоления почв.

Традиционные методы оценки динамики засоления почв

Карта динамики засоления почв получена путем наложения карты засоления почв 1990г. на аналогичную карту 1975г. Каждая из этих карт имела легенду, содержащую 4 типа контуров:

1. Почвы преимущественно незасоленные или слабо-засоленные.
2. Преимущественно средnezасоленные почвы с участием слабозасоленных до 25%.
3. Преимущественно средnezасоленные почвы с участием сильнозасоленных до 50%.
4. Преимущественно сильно засоленные, очень сильно-засоленные почвы и солончаки.

Таблица 19. Площади почв разной степени засоления на территории новой зоны освоения Голодной степи в 1975 и 1989 гг

Преобладающая в контуре степи засоленая почва	№	Площадь почв разной степени засоления						Итого га/±	
		Низко-			Высоко-				
		засоленные	засоленные	засоленные	засоленные	засоленные	засоленные		
		Ia / I			II / II				
		числитель - га, знаменатель - %			числитель - га, знаменатель - %				
		от этого класса земель в целом (площадь)			от этого класса земель в целом (площадь)				
		На 1975 г.			На 1989 г.				
Преимущественно слабозасоленные незасоленные	1	10448 51,0	6152 18,5	10430 14,5	12305 37,5	111824 44,2	3329 6,7	619 6,1	115767 35,1
Условно слабо- или незасоленные, плотность культур связана с засоленностью	9	290 0,1	-	-	260 0,07	-	-	-	-
То же, недавнего освоения, плотность связана с засоленностью	9а	183 0,09	-	-	183 0,06	-	-	-	-
То же, недавнего освоения, причина плотности не установлена	8	791 0,4	-	-	791 0,3	-	-	-	-
Преимущественно слабозасоленные с участком незасоленными до 50 %	2	62418 30,0	21956 63,2	9050 12,5	92575 28,1	81017 32,1	7838 15,8	627 6,2	89481 27,2
Условно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего освоения, причина плотности не установлена	8а	1467 0,7	-	-	1467 0,4	-	-	-	-
Преимущественно среднезасоленные с участком слабо- и сильнозасоленными до 25 %	3	21373 10,2	4661 14,0	16975 23,4	43023 13,1	34471 13,6	7796 15,7	642 6,4	42899 13,0
Преимущественно среднезасоленные с участком сильнозасоленными до 50 %	4	9896 4,7	1285 3,9	10091 14,6	21722 6,6	16887 6,7	10797 21,7	1503 15,3	29237 8,9
Преимущественно сильнозасоленные с участком среднезасоленными до 50 %	5	3132 1,5	7 0,02	13210 18,2	16599 5,0	2241 0,9	6018 12,1	3277 32,6	11536 3,3
Преимущественно сильнозасоленные с участком очень сильнозасоленными	6	2042 1,0	62 0,2	9602 13,2	11795 3,6	2538 2,2	12128 26,3	2814 28,0	21478 6,5
Очень сильнозасоленные (солончаки)	7	790 0,3	81 0,2	2761 3,8	3630 1,1	742 0,3	752 1,5	317 3,2	2012 0,6
Итого: территории разной степени засоленности (без учета прочих земель):		208739 100,0	52367 100,0	72638 100,0	314683 95,5	252719 100,0	49666 100,0	10661 100,0	312908 94,8
Прочие земли (всего в пределах массива), в том числе:									
Водоемы					67 / 0,02			930 / 0,3	
Лесы					8091 / 2,4			7167 / 2,2	
Усадьбы и дороги					6756 / 2,1			9092 / 2,7	
Итого: общая площадь массива					329594 / 100,0			329594 / 100,0	

Таблица 20. Площади почв разной степени засоления на территории Джизакской степи в 1975 и 1989 гг

Преобладающая в контуре степи засоленность почв		Площадь почв разной степени засоления							
		На 1975 г.				На 1989 г.			
		Низ-	Низ-	Низ-	НПОГО	Низ-	Низ-	НПОГО	
		на (Промышлен)	орошение (Промышлен)	орошение (Промышлен)	орошение (Промышлен)	на (Промышлен)	орошение (Промышлен)	орошение (Промышлен)	орошение (Промышлен)
		га/т	га/т	га/т	га/т	га/т	га/т	га/т	га/т
		от этого класса земель в центах (площадь)				от этого класса земель в центах (площадь)			
		На 1975 г.				На 1989 г.			
Преимущественно слабозасоленные	1	10967	1536	49047	81549	20800	3210	30000	79518
Условно слабозасоленные	2	66,7	8,3	36,6	34,2	70,2	2,9	68,3	33,3
Условно слабозасоленные, летность контуров саксам с аэрозоляцией	3	314	-	-	314	843	-	-	843
То же, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	4	3,1	-	-	0,2	2,9	-	-	0,4
То же, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	5	-	-	-	-	7385	-	-	7385
То же, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	6	-	-	-	-	4,8	-	-	3,1
Преимущественно слабозасоленные с участком незасоленными до 50 %	7	3637	13478	38542	55457	6793	7666	4387	18236
Условно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	8	22,1	72,4	20,4	23,4	22,9	6,3	5,4	7,6
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	9	-	1763	-	1763	-	6579	-	6579
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	10	-	9,5	-	0,7	-	6,0	-	2,8
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	11	1020	641	18524	20196	1064	11536	3977	18528
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	12	4,3	3,5	9,8	8,5	3,6	10,6	7,3	7,8
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	13	286	8	22931	23225	66	21490	5562	21118
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	14	1,7	0,04	12,1	1,7	0,2	19,7	6,8	11,4
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	15	13	-	-	13	25	11285	3945	15155
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	16	0,008	-	-	0,005	0,08	10,3	4,7	6,3
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	17	-	-	19706	19706	40	14473	2564	17979
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	18	-	-	10,5	8,3	0,1	13,3	3,2	7,2
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	19	-	-	20085	20085	8	4859	3486	8353
Преимущественно слабозасоленные с участком средне- и незасоленными, недавнего орошения, летность контуров саксам с аэрозоляцией	20	-	-	10,6	8,4	0,002	4,4	4,3	3,5
Итого: территории разной степени засоления (без учета прочих земель)		14447	18560	189722	227916	29636	109122	81271	226931
Прочие земли: насаждение пусты, лесов, дороги водохранилища и т.п. (Всего в пределах насаждения)		100,0	100,0	100,0	93,9	100,0	100,0	100,0	92,3
Итого: общая площадь насаждения					14811 / 6,1				16376 / 7,7
					238427 / 100,0				238427 / 100,0

Отдельно выделялись дороги, населенные пункты, водохранилища и другие объекты.

При наложении информация 1975 года изображалась цветом, а данные 1990 года — штриховкой. Легенда карты динамики засоления почв при этом присорела форму матрицы, которая приведена на рис. 21.

Подсчет площадей по карте также проводился на комплексе КАМ-М института СОВИНТЕРВОД (бывш. Союзгидроводхоз). Анализ площадей контуров этой карты, хотя и не противоречит результатам сопоставления табличных данных 1975 и 1990 годов, показал, что истинная динамика засоления почв сложнее и охватывает значительно большую территорию. Все земли на карте динамики засоления можно разделить на стабильные по засолению и динамичные (рис. 22). Около трети земель оказались динамичными по засолению.

Стабильные земли можно разделить на стабильно хорошие, т.е. не требующие мелиорации (таких, как видно из диаграммы в НЗУ Голодной степи около 60 %) и стабильно плохие, т.е. земли, требующие реконструкции мелиоративных систем, так как эффекта от существующих нет.

Динамичные делятся по направлению процесса на рассолявшиеся и засолявшиеся (рис. 23). Как видно, на исследуемой территории наблюдается некоторое преобладание земель ухудшающегося мелиоративного состояния над улучшающимися.

Динамичные по засолению земли (и засоляющиеся и рассолявшиеся) можно разделить по интенсивности идущего процесса. Мы разделили их на 3 порядка.

1 порядок: засоление почв в контуре за исследуемый период изменилось на 1 градацию;



Рис. 21. Фрагмент карты динамики засоления почв, составленной на основе наложения данных карты 1989г. на данные 1975г. (рис. 19)

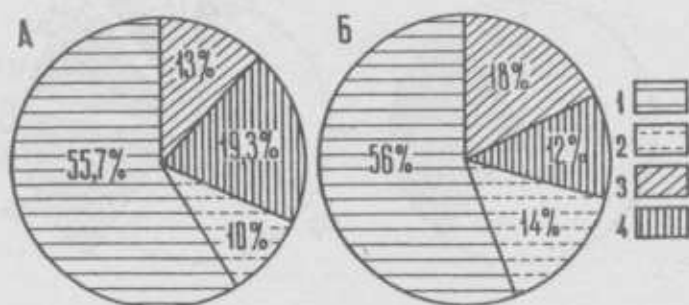


Рис. 22. Баланс орошаемых земель НЗЗ Голодной (А) и Движаской (Б) степей, различавшихся по динамике засоления почв, полученный в результате анализа карт динамики засоления почв.

Примеч.: 1 – преимущественно незасоленные и слабозасоленные; 2 – преимущественно средnezасоленные с участками слабозасоленных; 3 – преимущественно средnezасоленные с участками сильнозасоленных; 4 – преимущественно сильнозасоленные.



Рис. 23. Распределение динамических земель НЗЗ Голодной (А) и Движаской (Б) степей по интенсивности засоления-рассоления с 1975 по 1989 гг.

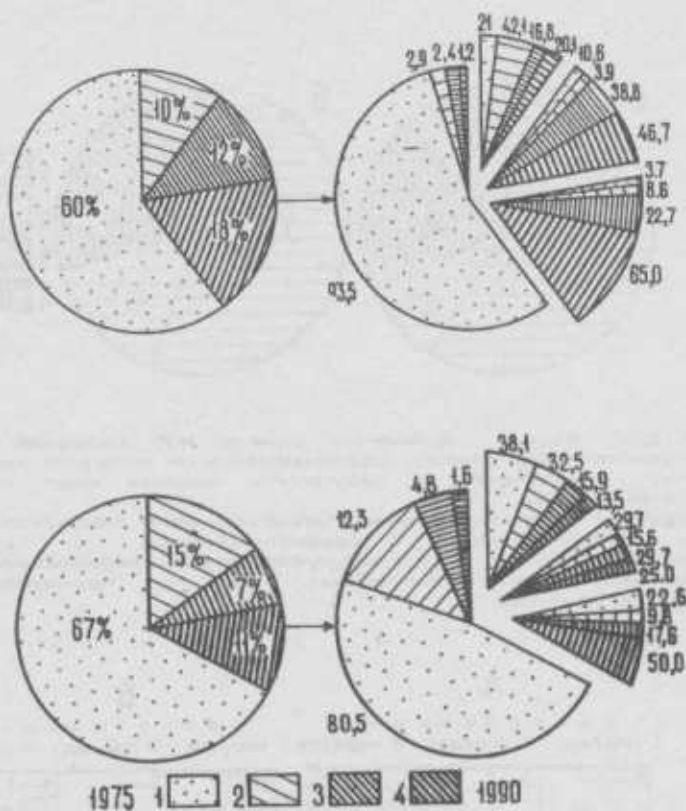


Рис. 24. Направление солевого процесса в землях НЗО Голодной (А) и Джизакской (Б) степей при различном исходном засолении почвы.

Примеч.: 1 - преимущественно незасоленные и слабозасоленные; 2 - преимущественно средnezасоленные с участием слабозасоленных; 3 - преимущественно средnezасоленные с участием сильнозасоленных; 4 - преимущественно сильнозасоленные.

2 порядок: на 2 градусах;

3 порядок: на 3 градусах.

Такое разделение обусловлено исходным разделением всего диапазона земель по засолению на 4 градации. Как и следовало ожидать, больше всего земель с минимальной динамикой засоления, меньше всего — с максимальной (рис. 23).

Базным нам показался и анализ динамичности земель разной исходной засолённости (данные приведены на рис. 24). Площади земель приведены в процентах от общей площади территории в процентах, где за 100 % принята площадь земель этой степени засолённости в 1975 году.

Поясним на примере исходно незасоленных почв. Это самая распространенная категория земель, занимающая 50–60 % территории. За последние 15 лет более 20% этих земель засолилась, земли 4 ой категории. Самые засоленные, 65–80 % этих земель не претерпели никаких изменений. Общая же площадь, занимаемая такими почвами даже несколько возросла за счет засоления земель других категорий.

Пронезучотные, 2 и 3 категории с доминирующим средним засолением наиболее динамичны. Стабильными по засолению осталось лишь около трети таких земель. Остальные либо рассолились, либо засолились. Общий баланс у этих категорий земель также положительный, а прирост произошел за счет уменьшившейся площади незасоленных почв.

Информация, полученная при анализе карты динамики засоления почв, дала возможность решить такую практическую задачу, как выбор очередности реконструкции мелиоративных систем.

Карта очередности реконструкции мелиоративных систем.

В основу оценки качества работы мелиоративной системы и, соответственно, необходимости и очередности ее реконструкции была положена информация о динамике засоления почв этой территории.

Все орошаемые земли были разделены на три категории:

1. Земли, мелиоративные системы на которых требуют первоочередной реконструкции.
2. Земли, мелиоративные системы на которых работает неудовлетворительно, но могут быть реконструированы во вторую очередь.
3. Земли, мелиоративные системы на которых не требуют реконструкции.

В каждой из этих категорий оказались земли стабильные и динамичные по засолению почв. Нам показалось не целесообразным соединять их, поэтому в классификацию был введен буквенные индексы: А — означающий стабильные по засолению земли и Б — динамичные.

В результате легенда карты очередности реконструкции мелиоративных систем приобрела следующий вид:

- 1А. Почвы стабильно сильно-, очень сильнозасоленные и солончаки.
- 1Б. Засоляющиеся почвы 2 и 3 порядков (см. рис. 23).
- 2А. Почвы стабильно слабо- и средnezасоленные.
- 2Б. Засоляющиеся почвы 1 порядка.
- 3А. Стабильно незасоленные почвы.
- 3Б. Рассоляющиеся почвы.

Отнесение почв стабильно сильного, очень сильного засоления и солончаков к категории земель, требующих

первоочередной реконструкции мелиоративных систем - спорный вопрос. Это земли, освоение которых в течение 10-15-летнего и более длительных периодов не принесло положительных изменений. Решение о дополнительных капиталовложениях на подобных территориях требует дополнительной экономической и, возможно, экологической экспертизы.

фрагмент карты очередности реконструкции оросительных систем показан на рис.25.

Анализ подсчета площадей по этой карте показал, что наиболее распространенной является категория земель 3н, т.е. почв стабильно незасоленных (56%). Категория 3Б, т.е. рассоляющиеся почвы составляет всего 13%, хотя и включает шесть типов контуров.

Таким образом, 69% орошаемых земель НЗУ Голодной степи не требуют реконструкции оросительных систем.

Территории, требующие первоочередной реконструкции оросительных систем, занимают около десяти процентов (10,8%), причем 1Б, т.е. контуры активно засоляющихся почв занимают 5,8%. Остальные - 1А - территории, о которых было сказано выше, где необходимость реконструкции мелиоративных систем проблематична.

Территории второй очереди реконструкции занимают 16,3% орошаемых земель НЗУ Голодной степи. Стабильных из них 5,8% динамичных - 11,5%. Остальную территорию занимают дороги, населенные пункты, водохранилища и др. объекты.

Таким образом анализ карт динамики засоления почв и очередности реконструкции мелиоративных систем НЗУ Голодной степи, подсчет площадей контуров, выделенных на этих картах показал следующее:

1. В НЗУ Голодной степи площадь земель, подверженных

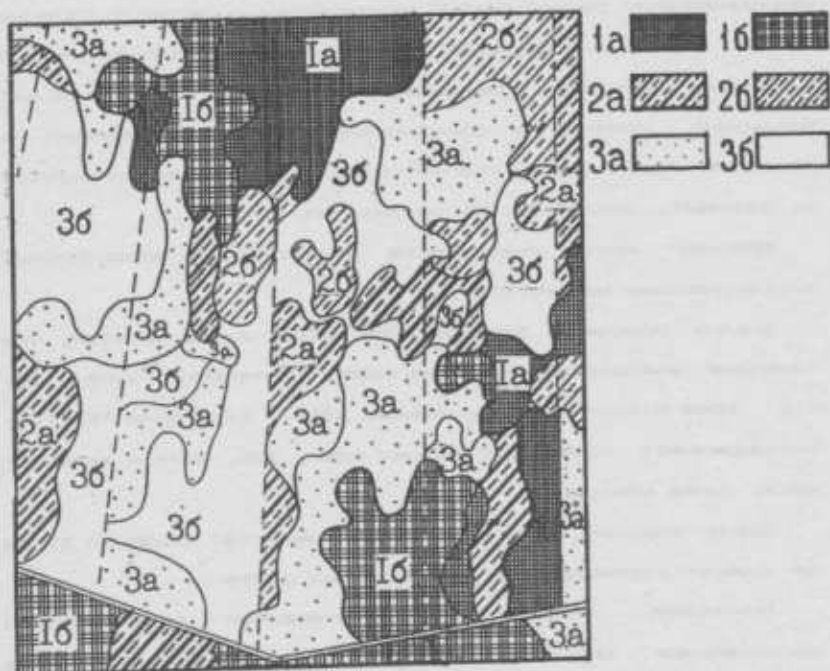


Рис. 25. Фрагмент карты очередности реконструкции оросительных систем, составленной на основе карты динамики засоления почв:

1 - земли, нелиоративные системы на которых требуют первоочередной реконструкции; 2 - земли, нелиоративные системы на которых работает неудовлетворительно, но могут быть реконструированы во вторую очередь; 3 - земли, нелиоративные системы на которых не требуют реконструкции; а - стабильные по засолению почв земли; б - динамичные. Более подробное описание типов контуров, выделенных на этой карте, приведено в тексте.

вторичному засолению (18%), превышает площадь рассолевшихся земель (14%). Более 10% занимает земли со стабильно высоким уровнем засоления.

2. Большая часть орошаемых земель НЭО Голодной степи находится в удовлетворительном мелиоративном состоянии, однако около 30% данной территории требует реконструкции мелиоративных систем, из которых около 6% — первоочередной.

3. Распределение земель по динамике засоления почв и, соответственно необходимость реконструкции мелиоративных систем неравномерно по природно-мелиоративным районам. Зависит оно и от качества ранее проведенных мелиоративных мероприятий.

Результаты исследования дали возможность сделать выводы как методического, так и фактического плана, оценивавшего динамику засоления и мелиоративную обстановку в НЭО Голодной и Джизакской степей:

1. Традиционный метод оценки динамики засоления почв какого-либо региона на основе стационарных точечных данных не позволяет получить достоверную информацию о солевой динамике региона в целом. Процесс, происходящий в одной точке наблюдения, может существенно отличаться по направленности и интенсивности от процесса, проходящего в другой точке даже в пределах одного поля.

2. Оценка динамики засоления почв путем сопоставления табличных данных по распространению засоленных почв в разные годы (например, табл. 18) хотя и позволяет составить общее представление о соевом балансе территории в целом, однако, не дает истинного представления об идущих на этой территории процессах засоления — рассоления.

3. Анализ карты динамики засоления почв сравниваемых территорий позволяет оценить общие тенденции солевой динамики, интенсивность и направленность процессов рассоления - засоления, определить различающиеся между собой районы по проявлению этих процессов.

4. В НЗО Голодной и Джизакской степей территории, подверженные засолению, занимает большую площадь, чем рассолявшиеся. В частности, в НЗО Голодной степи вторичному засолению подвержено 18% орошаемых земель, в Джизакской степи (на 1988 г.) - 13%.

5. Значительные площади в пределах исследуемых территорий характеризуются стабильным высоким уровнем засоления почв на протяжении сравниваемых лет. Таких земель в НЗО Голодной степи 12%, в Джизакской - около 20%.

Мы считаем, что приведенные материалы достаточно убедительно показывают, что при анализе динамики засоления можно не только определить площади почв, степень засоления которых изменилась за исследуемый период, но и выявить тенденции развития процесса "...засоление - рассоление...". Эти сведения позволяют получить карта динамики засоления почв, составленная по рассмотренной выше методике.

При оценке многолетней динамики засоления почв следует учитывать климатические условия сравниваемых лет.

Нами был выполнен анализ фотоизображения территории клеча 1 (совхоз № 10) за девять лет по аэроснимкам (1972, 1975, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1987 гг.). Даже визуальный анализ снимков (рис. 26) свидетельствует о том, что размер и выраженность пятен разного тона менялись в течение этих лет: в 1975 и 1986 гг. пятнистость была выражена значительно сильнее, чем в 1982 и 1987 гг. По



А



Б



В



Г

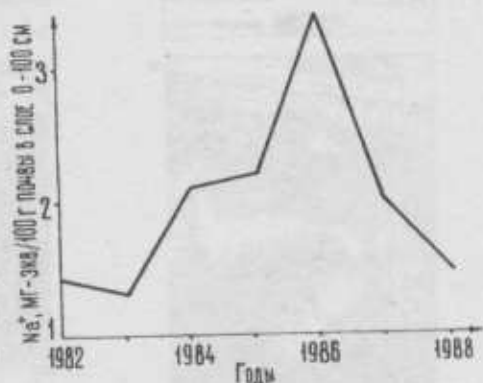


Д

Рис. 26. Изменение
 солевой обстановки. Ключ
 1; совхоз № 10. Светлые
 контуры соответствуют
 территориям сильного и
 очень сильного засоления
 нетрассового слоя почвы.
 А-1975г; Б-1983г;
 В-1986г; Г-1988г;
 Д-1989г.

снимкам 1982–1988 гг. и на основе полевых исследований была количественно оценена засоленность почв каждого контура и построен график изменения средневзвешенного засоления почв ключа за 7 лет (рис. 27). В итоге было выявлено сложное, неоднозначное по годам колебание засоления почв с пиком, приходящимся на 1986 г. – аномально маловодный, с повышенной минерализацией грунтовых вод.

Названные исследования также свидетельствуют о возможных разнонаправленных колебаниях засоления почв в пределах одного и того же региона. Это показывает, что сопоставление засоленности почв по случайно взятым для сравнения годам не позволяет достоверно судить о динамике этого



процесса. Сравнение данных 1982 и 1986 гг. по засолению почв ключевого участка по ключу I обнаружило усиление засоления и ухудшение нелириативной обстановки, а данных 1982 г. и 1987–1988 гг. – стабильность или даже уменьшение засоления почв в пределах указанного региона и, следовательно, об относительно благополучном нелириативном состоянии территории.

Приведенный материал подтверждает вывод о том, что для установления многолетней динамики засоления почв необходимы длительные постоянные наблюдения, обеспечить которые в состоянии только постоянно действующий дистанционный мониторинг.

Итак, все сказанное выше относится к первым двум этапам организации мониторинга засоления почв: инвентаризации засоленных земель и контролю за динамикой засоления почв. Решение этих задач не дает возможности, однако, определить причины изменения солевого состояния, без чего невозможно разработка мероприятий по направленному регулированию солевых процессов, т.е. решение конечной задачи мониторинга засоления почв. При этом без осуществления первых двух этапов работ нельзя перейти к последнему.

МАШИННЫЕ МЕТОДЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОФОТОСНИМКОВ С ЦЕЛЬЮ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Создание мониторинга засоления почв связано с большим объемом работ по дешифрированию снимков. Совершенно очевидно, что визуальное дешифрирование фотоснимков — сложная и трудоемкая работа, качество которой определяется квалификацией и субъективными особенностями восприятия дешифровщика. Поэтому разработка и совершенствование методов машинного дешифрирования и картографирования становится в настоящее время одной из главных задач дистанционных исследований. Это особенно актуально при изучении динамики засоления и создании мониторинга засоления почв обширных территорий. Доля участия машины может быть различна: от наиболее простых форм работы в интерактивном режиме, т.е. в режиме диалога между машиной и человек-оператором, до полной автоматизации процесса дешифрирования.

При визуальном дешифрировании основными признаками, по которым оценивается засоление почв, являются рисунок и тон, сочетание которых формирует текстуру изображения. Мы проанализировали связь каждого признака с засолением почв, и полученные зависимости использовали для создания алгоритма автоматизированного дешифрирования засоления.

Зависимость яркости фотонизображения от засоления почв

На панхроматических снимках детального и крупного масштабов

посевы хлопчатника, как было показано выше, отображаются сочетанием пятен темного (растительность) и светлого (открытая поверхность почвы) тонов (рис.8). При уменьшении масштаба происходит фотогенерализация мелких пятен. Они сливаются и образуют контуры, общий тон которых зависит от доли участия в них мелких пятен-выпадов, определяемых проективным покрытием растений. Так, уже в масштабе 1:10000 изреженность и угнетенность хлопчатника отражается на снимках как в виде белых крапин и контуров (выпадов), так и в виде "размытых" осветленных пятен (угнетенных растений и никровыпадов), выделенных на более темном фоне хорошего хлопчатника. В этом случае на панхроматических снимках можно выделить по тону три типа контуров: 1) контуры ровного темного тона, соответствующие хлопчатнику, не испытывающему воздействия токсичных солей; 2) контуры белесого тона, отражающие выпад культуры вследствие повышенной засоленности почв, и 3) контуры промежуточного серого тона, на территории которых засоление не приводит к полному выпадению культуры, но вызывает ее изреженность и угнетенность. В этом масштабе (1:10000) такое разделение устойчиво и мало зависит от условий съемки и печати снимков.

В данном разделе мы решаем задачу формализации выделения таких контуров, а также выявления зависимости яркости фотоизображения от засоления почв и определения области ее применимости.

Поскольку яркость фотоизображения является функцией состояния хлопчатника, а оно в свою очередь зависит от засоления, можно предположить существование функции

$$Y = f(X) \quad (1),$$

где Y — яркость изображения; X — засоление почвы, и, соответственно, обратной регрессионной зависимости

$$X = f_X(Y) \quad (2),$$

на основании которой следует определять засоление по тону фотоизображения.

Влияние засоления на состояние хлопчатника начинается с некоторой величины X_{ϕ} , причем $X_{\phi} > 0$. На отрезке $X_0 - X_{\phi}$ кривая идет параллельно оси X . При достижении критической величины X_{ϕ} происходит полное выпадение хлопчатника. В этом случае плотность фототона на снимке определяется в основном отражающей способностью почвы и дальнейший рост засоления к изменению фототона практически не ведет (кроме случая образования солевой корки на поверхности). Таким образом, при значениях $X > X_{\phi}$ кривая второй раз вырождается в прямую, параллельную оси X . Общий вид зависимости приобретает S-образную форму (рис. 28), а функция (1) принимает вид

$$Y = Y / (1 + K e^{-AX}), \quad (3)$$

где Y — яркость фототона в условных единицах; Y — яркость в точке наибольшего засоления при $X \gg X_{\phi}$; X — засоление (Na^+ , $\text{mg-экв}/100\text{г}$ почвы); A и K — коэффициенты регрессии.

Коэффициент K находят при граничных условиях X , A — методом наименьших квадратов. Для подтверждения зависимости (3) и уточнения коэффициентов A и K привлекались материалы полевых работ, проведенных на клеевых участках в Голодной степи.

Зависимость плотности фототона от засоления анализировалась по слоям 0–25 см, 25–50 см, 50–100 см и средневзвешенному засолению слоя 0–100 см. Сравнение показало, что наилучшая корреляция наблюдается именно со слоем 0–100 см. Последнее можно объяснить тем, что общее

содержание солей в слое 0-100 см достаточно стабильно в

течение всего вегетационного периода и остается примерно одинаковым как в период выпадения хлопчатника (весна - начало лета), так и осенью в момент съема.

Распределение солей внутри этого слоя не столь стабильно.

Соли могут подтягиваться к поверхности или, наоборот, опускаться под действием почвенных

увеличивая концентрацию солей в одних горизонтах за счет уменьшения в других, не меняя при этом общую засоленность в слое 0-100 см.

Регрессионная зависимость засоления от яркости достаточно близко аппроксимировалась кусочно-линейной зависимостью. Уравнение (2), преобразованное Д.И.Руковичен, имеет вид

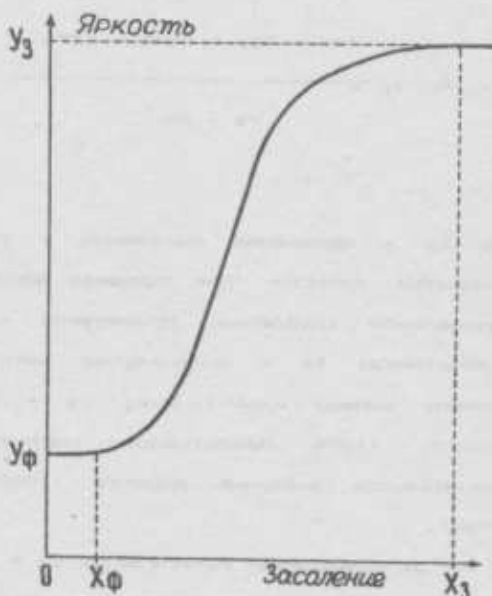


Рис. 2В. Принципиальный вид зависимости яркости фотонизображения от засоления почвы: X_f — минимальное засоление, приводящее к угнетению хлопчатника; X_z — максимальное засоление, при котором происходит полный выпад растений; Y_f — яркость при 100%-ном проективном покрытии хлопчатника; Y_z — яркость при полном отсутствии растений (100% открытой поверхности почвы)

$$X_p < X_f \text{ при } Y < Y_f,$$

$$X_p = \frac{X_3 Y - X_f Y + X_f Y_3 - X_3 Y_f}{Y_3 - Y_f} \quad \text{при } Y_3 < Y < Y_f, \quad (4)$$

$$X_p > X_3 \text{ при } Y > Y_3$$

где X_p — ожидаемое засоление в точке, отображающей элементом яркости (или средняя яркость в сегменте); X_f — минимальное засоление, приводящее к угнетению растений хлопчатника; X_3 — минимальное засоление, приводящее к полному выпадению хлопчатника; Y_f — минимальное значение яркости (100% проективного покрытия растений); Y_3 — максимальное значение яркости (100% открытой поверхности почвы).

На исследованных нами клочках $X_f = 1,5 \pm 0,5$; $X_3 = 4,0 \pm 0,5$ Na^+ , мг-экв/100г почвы (среднезвешенное содержание в слое 0–100 см). Значения Y_f и Y_3 различны для разных снимков и зависят от условий и типа съемки.

Засоление нетрового слоя почвы оценивалось с точностью около 80 %. Существенным недостатком этого метода является то, что он "работает" лишь в интервале слабого-среднего засоления. Это ограничение потребовало дальнейших работ в области названного анализа аэрофотоснимков — формализации дешифрирования рисунка фотонизображения.

Связь рисунка фотоизображения с засолением почв

Цель данного раздела — проверка двух признаков засоления: размера контура выпад хлопчатника и удаленности точки от границы этого контура. В этом случае, если засоление при переходе выпад — нормальный хлопчатник изменяется не случайным образом, можно предположить существование функциональной зависимости

$$X = f(Y), \quad (5)$$

где X — засоленность в точке; Y — некий параметр.

Поскольку светлые участки фотоизображения (выпад) характеризуются сильным засолением, а темные (хороший хлопчатник) — отсутствием засоления, можно предположить, что засоление меняется с удалением точки от границы выпад. В таком случае Y — расстояние от точки до границы ближайшего выпад. Мы проанализировали данные по клеточным участкам и получили зависимость, изображенную на рис. 29, которая подтвердила это предположение, но не дала возможность определить вид зависимости.

Для определения вида зависимости был заложен ряд профилей, расположенных таким образом, чтобы они пересекали контуры выпадов различной величины. Опорные скважины закладывали по профилям через каждые 20 м, а на участках переходов (границ контуров) их загущали и бурили через 2-4 м. Для большей точности скважины закладывали в двойной повторяемости общин числом около 600. Изменения проективного покрытия хлопчатника, средневзвешенного засоления слоя 0-10 см, относительного превышения и яркости фотоизображения

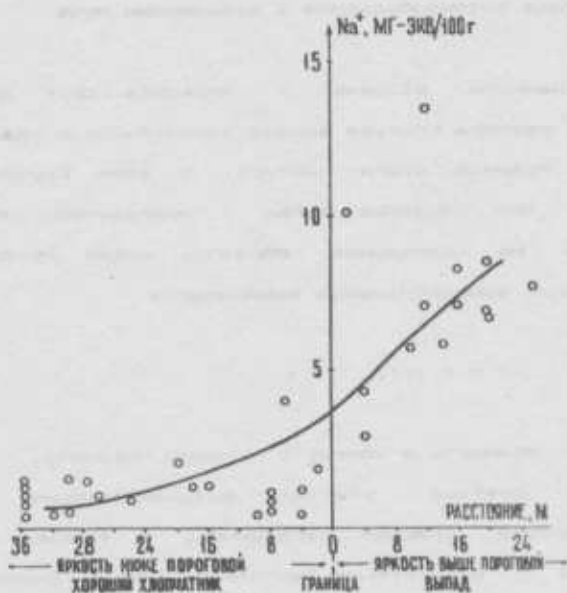


Рис. 29. Зависимость средневзвешенного засоления почвы в слое 0–100 см от расстояния до границы ближайшего выппада (после корректировки фотонизображения и включения скважин, заложённых в контурах выпадов)

вдоль профилей 1 и 2 зафиксировано на рис. 30 и 31.

Для установления вида зависимости (5) использовали данные, полученные на трех участках, с заложением скважин через каждые 2–4 м на профиле 1 между опорными скважинами 15–17, на профиле 2 между скважинами 62–63 и 67–69 (см. рис. 14). Как показал анализ этих данных, зависимость (5) приобретает вид степенной функции

$$x = K + B \cdot A \quad (6),$$

где K , B и A – коэффициенты регрессии.

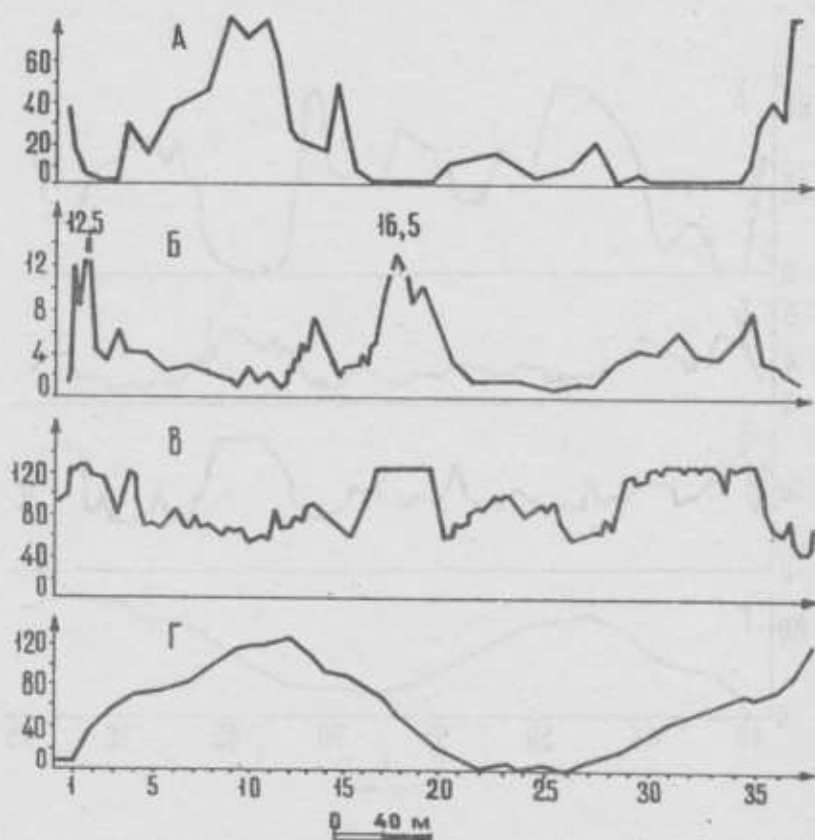


Рис. 30. Характеристика ключевого участка, полученная по профилю 1:

А — проективное покрытие клочматника, %; Б — засоление почвы в слое 0-100 см, мг-%/100г почвы; В — яркость фотонизображения, усл.ед; Г — относительное превышение, см

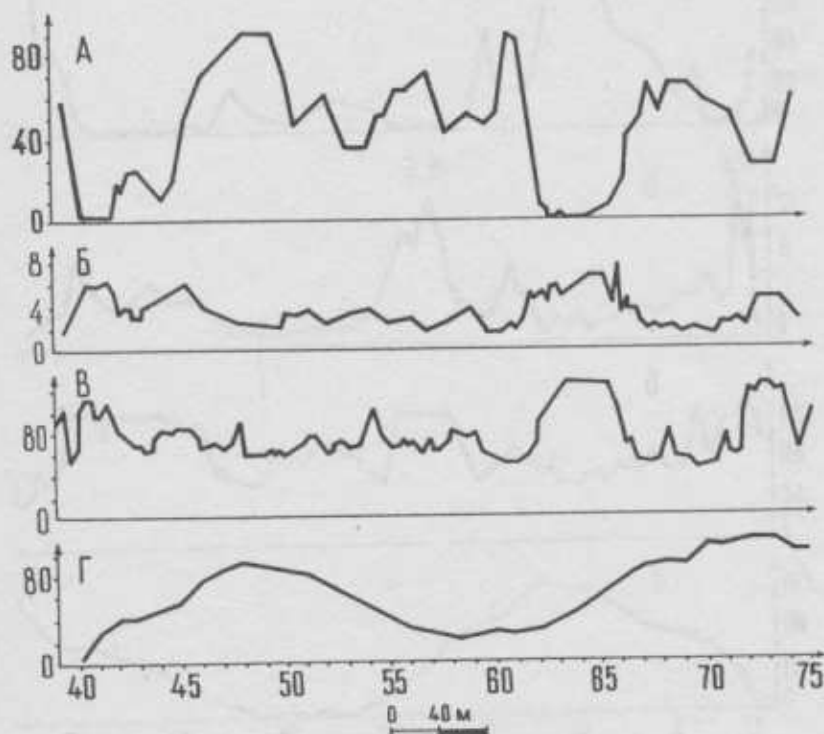


Рис. 31. Характеристика ключевого участка, полученная по профилю 2:

А - проективное покрытие хлопчатника, %; Б - засоление почвы в слое 0-100см, Na^+ , мг-экв/100г почвы; В - яркость фотоизображения, усл.ед; Г - относительное превышение, м

Однако за $Y=0$ в этом случае мы приняли не границу выпадения, а ближайшую к ней точку фона, не испытывающую влияния выпадения. Засоление в этой точке обычно отлично от нуля и характеризуется каким-то шумовым значением, характерным для фона в целом. Назовем ее "фоновой" точкой. Соответственно Y в формуле (6) — это расстояние до истинной фоновой точки. Коэффициенты K и B находятся методом наименьших квадратов, коэффициент A — методом прогонки с шагом, равным единице.

По общей выборке были определены коэффициенты регрессии усредняющей кривой (рис. 32). С найденными коэффициентами K , B и A формула (6) принимает вид

$$x = 2,1306 + 0,0042 Y. \quad (7)$$

Дисперсия уравнения (7) равна 1,07 мг-экв/100г почвы.

Использование формулы (7) для определения засоления по аэрофотоснимкам затруднено, так как сложно найти величину Y . Значительно легче определить удаленность точки от границы

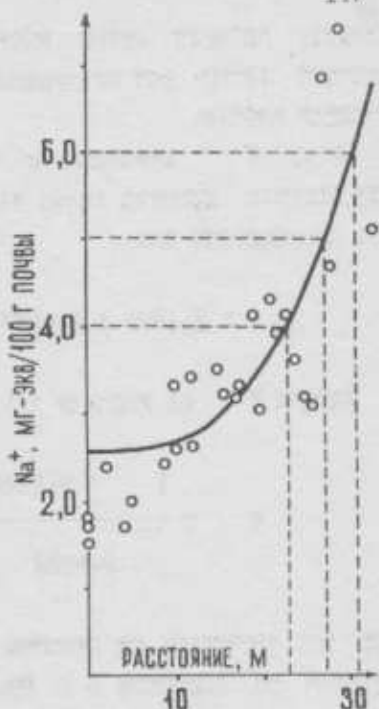


Рис. 32. График усредняющей

выпада, которая четко определяется по снимку, чем от фоновой точки, для нахождения которой требуется трудоемкие полевые работы.

Пусть Y — удаленность точки от границы выпада, а Y — удаленность шумовой точки от границы выпада, тогда формула (7) приобретает вид

$$X = 2,1306 + 0,0042 (Y - Y) \quad (8)$$

Найдем Y из формулы (7)

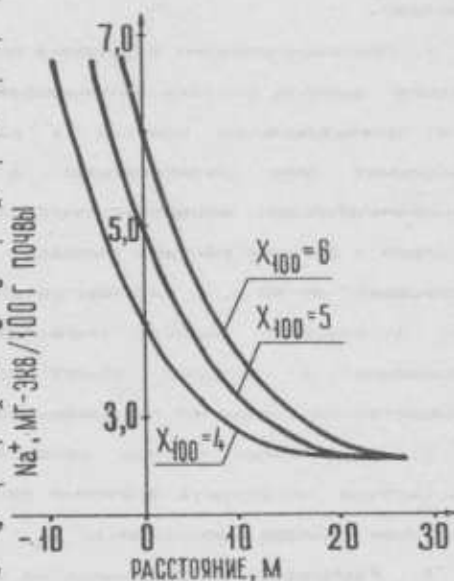
$$Y = \frac{X - 2,1306}{0,0042} \quad (9)$$

где X — засоление на границе выпада (в точке, удаленной от фоновой на величину Y). Подставим формулу (9) в уравнение (8)

$$X = 2,1306 + 0,0042 \left(\frac{X - 2,1306}{0,0042} - Y \right), \quad (10)$$

График уравнения (10) представлен на рис.33. Отрицательная область соответствует точкам внутри выпада. Уравнение (10) применено в пределах 30–35 м у границы, т.е. в зависимости от величины X ... от 5 м до 15 м в белом диапазоне и от 25 м до 30 м — в теневом. Величина X (т.е. засоление на границе выпада) должна определяться в поле, что, видимо, не вызовет особых затруднений.

Возможность распро-
странения на другие тер-
ритории значений коэффи-
циентов K , A и B , полу-
ченных на навих кликах,
не анализировалась. Пос-
кольку связь круглых
выпадов хлопчатника с за-
солоением почв имеет место
в большинстве районов
Средней Азии, считаем,
что после проверочных
работ этот метод может
быть распространен доста-
точно широко. Наибольшее
принимение он, видимо,
может найти при крупно-



масштабом и детальном
картировании засоления
почв по аэрофотоснимкам,
а также при автоматизации
дезинфицирования снежков.

По профилям 1, 2 и другим было проанализировано
распределение засоления внутри контуров выпадов при
удаленности от границ выпада, превышающей расстояние
применения уравнения (7). Выяснено, что распределение
засоления носит здесь не функциональный, а случайный
характер. Более того, амплитуда колебаний засоления в
пределах одного выпада часто сравнима с амплитудой
колебаний засоления по всем выпадам, пересеченным

В итоге проведенных исследований мы пришли к следующим выводам.

1. При картировании засоления почв по аэрофотоснимкам на основе анализа рисунка фотоизображения могут быть выделены три принципиальных класса: 1 класс — территории слабого засоления или незасоленные в слое 0–100 см. На панхроматическом аэрофотоснимке отображаются темным тоном; 2 класс — белесые контуры выпадов, линейные размеры которых превышают 30–40 м, с сильным-средним засолением слоя 0–100 см; 3 класс — область перехода между 1 и 2 классами, засоление в которой имеет промежуточные значения и снижается по степенной параболической функции.

2. Для точной оценки засоления этих классов в поле достаточно определить значение засоления только на границе контуров выпадов хлопчатника.

3. Распределение засоления на удалении свыше 20–30 м от границ выпадов носит случайный характер.

Методические приемы автоматизации дешифрирования аэрофотоснимков при составлении карт засоления почв

В этом разделе мы описан несколько методов автоматизированного дешифрирования аэрофотоснимков, с помощью которых была предпринята попытка реализовать выводы, полученные выше.

Работы по машинному анализу фотоизображений выполнялись совместно с сотрудниками Соезгипроводхоза, которые создали программы работ машинного комплекса (Головина, Минский и др., 1989). В нашу задачу входило определение требований к программам и полевая проверка карт - результатов автоматизированного дешифрирования. Автоматизированная обработка дистанционных изображений проводилась на специализированном программно-аппаратном комплексе Соезгипроводхоза (Бернштейн, Минский и др., 1986).

Комплекс обработки аэрокосмических материалов (КОАКМ) представляет собой микропроцессорную дисплейную систему на базе мини-ЭВМ МДС-231 производства фирмы Интел (США). Советский аналогон является ЭВМ СМ 1800. В последние годы разработана модификация комплекса, базирующаяся на ЭВМ типа IBM PC. Система позволяет вводить в память (дополнительную память ЭВМ) видеoinформации объемом 512 x 512 элементов. Содержание памяти отображается на экране цветного телевизионного монитора. Ввод информации производится с дискретностью 0,2 мм. Программное обеспечение, разработанное в отделе аэрокосмических методов Соезгипроводхоза, позволяет производить ряд операций по преобразованию изображений (усиление контраста, квантование

на заданное число уровней, ввод в кадр алфавитно-цифровой информации, измерение фото- и геометрических параметров, таких, как плотность фототона, площади фигур, длины линий и др.). В составе комплекса имеются алгоритмы сегментации изображений и поэлементной классификации. Программное обеспечение может пополняться и программными, написанными на языках Фортран-90, Бейсик-8, ПЛП-80 (Бернштейн, Минский и др., 1984; Минский, Фейгин, 1986). В настоящее время в распоряжении почвоведов появляются и другие импортные и отечественные комплексы обработки изображений. Рассмотренные ниже способы автоматизации дешифрирования снимков для оценки засоления почв могут быть осуществлены практически на любом из них.

Интерактивное дешифрирование

Дешифрируемое изображение выводится на экран дисплея. Оператор с помощью светового пера обводит выделяемые им контуры.

При дешифрировании можно повысить контрастность изображения, измерить яркость в любой точке, произвести ряд геометрических трансформаций, (поворот, сдвиг), а также увеличить в несколько раз рассматриваемый участок. После выделения контуров машина может посчитать их площадь, среднюю яркость в контуре и выдать другие характеристики.

В качестве примера приведен фрагмент карты, составленной на основе такого дешифрирования аэрофотоснимка территории землепользования совхоза № 10 (рис. 34). Оно было выполнено параллельно с традиционным визуальным-инструментальным методом дешифрирования. Далее, во время

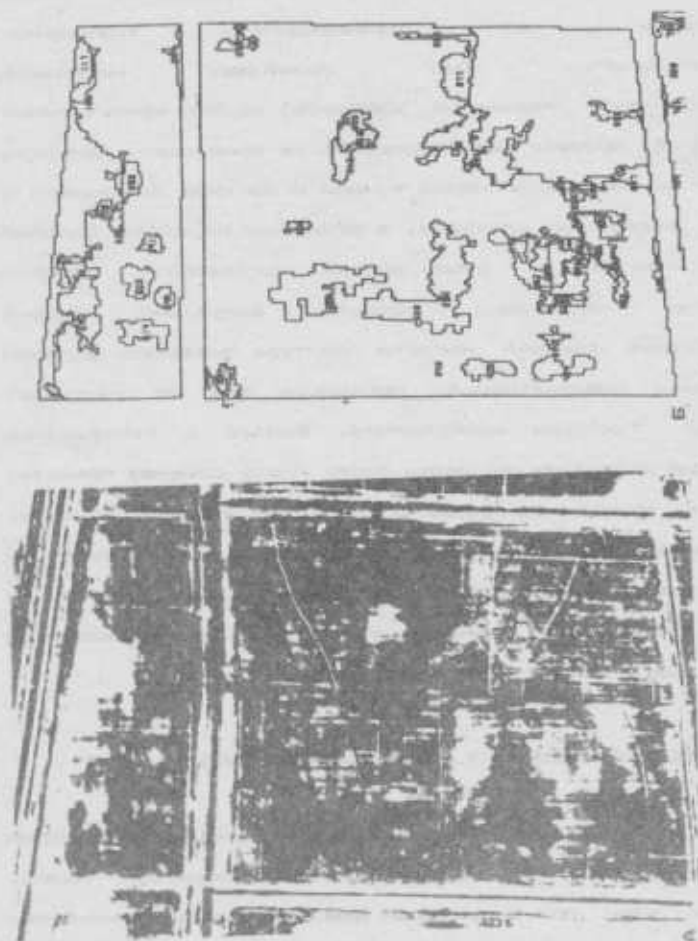


Рис. 34. Фрагмент панораматического аэрофотоснимка масштаба 1:110000 (А) и результат его лазерного дешифрирования в интерактивном режиме (Б)

полевых работ была проанализирована природа выделенных контуров и оценена засоленность почв в них. В итоге получен следующий вывод: интерактивное дешифрирование можно рассматривать как разновидность визуально-инструментального. Оно позволяет несколько объективизировать выделение контуров, однако качественных изменений в процесс дешифрирования не приносит. Ценность метода – в получении более точной и быстрой информации о площадях выделенных контуров, в возможности оценки средней яркости контура и ряда других показателей, которые практически невозможно оценить визуально. Однако характеристика средней яркости контура оказалась в нашем случае мало информативной, поскольку она не учитывает внутренней текстуры изображения. Контур с контрастным черно-белым крапчатым рисунком может иметь среднюю яркость, близкую к яркости однородного серого по фототону контура. При близкой средней яркости засоление почв этих контуров может существенно различаться. Рассмотренный метод не позволяет перейти к машинному картографированию засоления почв, он лишь помогает работе дешифровщика.

Квантование изображения на два тоновых уровня

В основу разработанной для нашей программы были положены дешифровочные признаки засоления почв хлопковых полей, выявленные нами при визуальном дешифрировании черно-белых панхроматических снимков масштаба 1:10000. При этом учитывали тон и рисунок фотонизображения. По тону изображение квантовалось на два уровня – темный (черный), соответствующий землям под хлопчатником, и светлый (белый),

соответствующий обнаженной поверхности. Граница этих уровней непостоянна, она меняется в зависимости от особенностей печати снимка и определялась для каждого конкретного снимка дешифровщиком. Машина проводила квантование фотонизображения на два тона согласно порогу, заданному дешифровщиком. Измерялись площади однородных областей изображения, состоящих из непосредственно прилегающих друг к другу элементов одного тона (Минский, Полков, Фейгин, 1986). Размер однородного светлого контура (выпада растений) на снимках масштаба 1:10000 задавался равным 0,25 га и более.

Однородный темный тон соответствует полям с коровьем хлопчатником и незасоленными почвами. Если размер пятна темного тона превышал 1,0 га (1,0 см² на снимке), то оно выделялось в самостоятельный контур. Остальные пятна (т.е. светлые - менее 0,25 га и темные - менее 1,0 га) объединялись в неоднородные контуры. Неоднородные (пятнистые) контуры делились на три категории в зависимости от размера светлых пятен-выпадов и их процентного участия в общей площади контура - поля.

Для отработки методики, проверки результатов машинного дешифрирования были взяты снимки ключевых участков, о засолении почв которых имелась детальная наземная информация. Ключевые участки были выбраны таким образом, чтобы охарактеризовать разные по степени засоления и, соответственно, по фотонизображению земли. Предварительно снимки дешифрировались визуально. В результате полевых работ каждый выделенный контур получил аналитическую оценку засоления слоя 0-100 см. Выработки, имеющие аналитическую характеристику засоления, точно привязывались к

фотоконтуров, выделены в результате машинного дешифрирования и таким образом оценивалось засоление этих контуров.

Рассмотрим пример машинного дешифрирования снимков и оценку засоления почв на отдельных клеевых участках (рис. 35, табл. 22).

Клеевой участок 5. Голодная степь, совхоз № 10, площадь участка 37 га, количество скважин 29. Фотонизображение однородное темно-серое с единичными мелкими белыми пятнами (выпады, отвалы ок-рыхлов, дороги и др.).

При машинном анализе снимков фотонизображения разделились на два тона: темный, который охватывает 95% площади участка, и светлый — 5%. Характеристика средневзвешенного засоления почв клеевого участка 5 в слое 0-100 см (Na^+ , мг-экв/100г почвы; фотонизображение однотонное темно-серое) приведена ниже.

Результаты анализов показали, что почвы клеевого участка 5, отображенные на снимках однородным темным тоном, не засолены в слое 0-100 см.

Клеевой участок 1. Голодная степь, совхоз № 10, площадь участка 33 га, количество скважин 21. Фотонизображение крупнопятнистое. Визуально по фотонизображению выделяется: 1) однотонные светлые контуры — выпады, лишённые хлопчатника; 2) однородные темные контуры — под хлопчатником; 3) пятнистые неоднородные контуры с мелкими и средними светлыми пятнами выпадов на общем сером фоне. Размер пятен-выпадов менее 0,25 га. Масштаб не позволяет отобразить каждое пятно отдельно, поэтому выделяются неоднородные (комплексные) контуры.

Машинный анализ фотонизображения почв этого клеева с

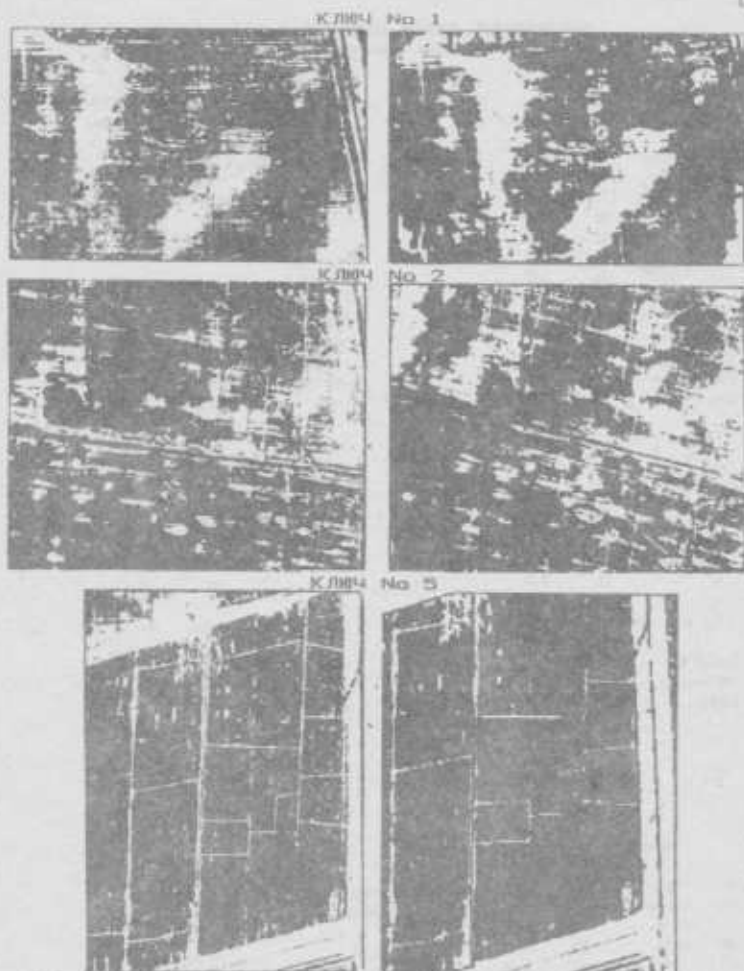


Рис. 35. Фрагменты аэрофотоснимков различного фотонизображения и их анализ методом квантования на два тоновых уровня.

Участки: А - крупнопятнистое фотонизображение. Светлые пятна - почвы сильнозасоленные, темный фон - средне- и слабо-; Б - среднепятнистое фотонизображение. Пятна отражают сильное и среднее засоление, фон - слабое; В - однородное фотонизображение и незасоленные почвы.

Слева - исходное фотонизображение в масштабе 1:100000; справа - результат квантования на два тона

ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ КЛИЧЕВЫХ УЧАСТКОВ
(в мг-экв Na+/100г почвы в слое 0-100см);

ЕВР № 1

пелюшное фитообразование.

Тип контура № сод. Засоление

1. Одростание	72	6,0
светлая плы-	73	5,0
щадь > 0,25 га	71	4,0
	65	5,0
	61	10,0
	56	10,0
	55	5,0

$$\bar{x} = 6,7 \quad \sigma = 2,3 \quad \rho = 34,3$$

2. Одростание	57	0,7
темная плы-	60	0,5
щадь > 1,0 га	62	0,6

$$\bar{x} = 0,6 \quad \sigma = 0,1 \quad \rho = 16,7$$

3. Невостроение	80	5,9
в нект	78	4,6
светлая плы-	77	1,8
зачернение 30%	63	4,0
плываки контура	54	4,4
	66	5,3

$$\bar{x} = 4,0 \quad \sigma = 0,15 \quad \rho = 37,5$$

темный фон -	79	1,0
70% плываки	76	2,0
контура	75	1,7
	74	1,3
	70	1,3

$$\bar{x} = 1,7 \quad \sigma = 1,2 \quad \rho = 30,0$$

ЕВР № 2

неко-среднеклетчатое фитообразование.

Тип контура № сод. Засоление

1. Одростание	41	5,0
светлая плы-	42	1,0
щадь > 0,5 га	49	7,5
	31	8,4
	87	10,7

$$\bar{x} = 6,5 \quad \sigma = 3,7 \quad \rho = 50$$

2. Невостроение	43	2,4
контура, в нект	26	0,3
темный фон - 70%	34	0,5
от плываки кон-	34	0,6
тура	28	0,4
	30	0,4
	29	0,4
	32	0,4
	53	1,8
	50	1,9
	40	1,6
	44	1,8
	46	0,7
	47	2,2

$$\bar{x} = 1,1 \quad \sigma = 0,77 \quad \rho = 70$$

светлая плы-	25	0,25
зачернение 30%	33	1,0
плываки контура	35	1,25
	32	4,6
	27	5,0
	31	0,35
	40	1,05

$$\bar{x} = 2,0 \quad \sigma = 1,6 \quad \rho = 80$$

ЕВР № 5

одностонное темно-серое фитообразование.

№	Засо-	№	Засо-	№	Засо-
сод.	ление	сод.	ление	сод.	ление
169	0,25	170	0,48	172	0,67
177	0,47	180	0,40	181	0,48
182	0,44	183	0,37	184	0,63
185	0,69	186	0,14	187	0,39
188	0,25	189	0,57	190	0,60
192	0,40	193	0,67	194	0,42
195	0,61	171	1,35	176	1,30
178	1,31	179	1,45	191	1,22
197	1,50	196	1,39	199	1,40

$$\bar{x} = 0,78 \quad \sigma = 0,41 \quad \rho = 52,6$$

квантованен на два тоновых уровня позволял, как и при визуальном дешифрировании, выделить три типа контуров - однородные темные, однородные светлые и пятнистые (рис. 35), однако по сравнению с визуальным дешифрированием автоматизированная обработка позволила более точно выделить пятна-выпады внутри пятнистого контура, а также более точно определить размер пятен и их общую площадь, что сложно сделать визуально.

Сопоставление фотонизображения контуров, выделенных при машинном анализе почв клоча 1, и засоления слоя почвы 0-100 см, показало, что почвы однородных светлых контуров характеризуются средним - высоким засолением ($\bar{X} = 6,7$ мг-эква/100г почвы), однородные темные контуры соответствует почвам незасоленным ($\bar{X} = 0,6$ мг-эква/100г почвы), неоднородные пятнистые - неоднородному засолению почвы, приуроченные к пятнам темного тона, составляющего 70% площади контура, характеризуются слабым засолением слоя 0-100 см ($\bar{X} = 1,7$ мг-эква/100г почвы), а почвы светлых пятен - средним ($\bar{X} = 4$ мг-эква/100г почвы).

Характеристика средневзвешенного засоления почв клочкового участка 1 в слое 0-100 см (Na^+ , мг-эква/100г почвы. Фотонизображение неоднородное пятнистое) приведена ниже:

Клочевой участок 2. Голодная степь, совхоз № 17, площадь участка 76 га, количество скважин 26. Фотонизображение мелко-среднепятнистое. На общем сером фоне четко дешифрируются белые пятна размером более 0,5 га. На снимке масштаба 1:10000 они могут быть выделены в самостоятельные контуры. Засоление почв в пределах этих контуров на грани среднего и сильного ($\bar{X} = 6,5$ мг-эква/100г почвы). Основную площадь на клочковом участке занимает

нелюпчатнистые контуры. Причем площадь светлых пятен в пределах неоднородных контуров составляет 32%, а темный фон занимает 68% площади. Почвы светлых пятен неоднородных контуров характеризуются средним - слабым засолением ($\bar{X} = 2,0$ мг-экв/100г почвы), а темных - слабым, близким к незасоленным ($\bar{X} = 1,1$ мг-экв/100г почвы).

Анализ материалов машинного дешифрирования крупномасштабных аэрофотоснимков полей хлопчатника осеннего залета, проведенный на основе квантования изображения на два тона, показал следующее.

1. Машинная обработка снимков квантованием на два тона позволяет на качественно-количественном уровне провести автоматизированное разделение территории по степени засоления почв. При этом контуры темного тона соответствуют почвам слабого засоления или незасоленным, светлые контуры - почвам сильного засоления, неоднородного фотонизображения - почвам неоднородного засоления. Почвы темных по фототону компонентов неоднородных контуров всегда засолены на 1-2 градации слабее, чем светлых.

2. Машинный анализ, проведенный данным методом, позволяет более точно, чем при визуальном дешифрировании, выделить контуры разного фотонизображения, подсчитать площади выделенных контуров и процентное участие компонентов в сложных контурах.

3. Дешифровочные признаки, разработанные при визуальном дешифрировании, пригодны для машинного анализа снимков этим методом. Таким образом, цель этого этапа - автоматизация методики (Панкова, Мазное, 1985) - может считаться достигнутой.

4. Проблемой, не решенной на этом этапе, которая

одинаково актуальна и для визуального, и для машинного дешифрирования, является проведение границ между неоднородными контурами с разной величиной пятен и долей их участия в контуре.

Приведен пример использования метода квантования изображения на два тоновых уровня.

Оценка динамики мелиоративного состояния земель на основе квантования на два тоновых уровня

В качестве объектов выбраны совхозы № 20 им. У. Якупова и № 6 им. Г. Титова НЗО Голодной степи, засоление почв которых известно достаточно хорошо и служит здесь главным показателем мелиоративного состояния земель. Цель работы заключалась в наиболее объективной оценке динамики мелиоративного состояния с наименьшей долей участия человека.

Для решения этой задачи мы пошли на заведомое огрубление классификации, т.е. на разделение земель на два класса "условно засоленные" и "условно незасоленные". От специалиста (оператора) зависел лишь выбор порога квантования.

Работы проводились в основном по снимкам 1975 и 1986 гг. В сложных случаях, а также тогда, когда поля были заняты не хлопчатником, использовались снимки соседних лет.

В качестве минимального самостоятельного объекта было выбрано поле. В результате обработки машина выдавала изображение поля, разделенное по яркости на два класса, доле участия и площадь каждого компонента. Сопоставление данных разных лет по второму и третьему параметрам

оказалось недостаточно информативным. Доля участия и площади компонентов могли быть неизменными, а динамика засоления значительной, поэтому было принято решение наложить изображение результатов автоматизированной обработки 1986 г. на обработку 1975 г. и получить тем самым карту динамики засоления. Отметим, что картой назвать ее можно лишь условно.

Порядок работы по составлению такой карты-схемы динамики мелиоративного состояния земель включал следующие этапы: исходные фотонизображения за 1975 г. и 1986 г. подвергали квантованию и полученные данные налагали друг на друга (рис. 36). В результате таких работ были составлены карты-схемы изменения мелиоративного состояния земель двух совхозов с четырьмя типами контуров: 1) стабильно хорошего состояния, 2) стабильно плохого, 3) ухудшающегося и 4) улучшающегося.

Для хозяйств подсчитаны площади земель разной направленности развития мелиоративного состояния.

В совхозе No 10 оценка динамики проведена на 109 полях из 138, или на 5429,1 га, т.е. на 78,7% общей площади землепользования. За период с 1975г. по 1986г. изменения произошли на 974,2 га, или на 18% обследованной территории. На 346,8 га (6,4%) за это время мелиоративная обстановка улучшилась, на 627,4 га (11,6%) — ухудшилась, т.е. процесс засоления продолжается.

В совхозе No 6 оценка динамики была выполнена на 84 полях из 129, или на 4621,6 га (68,3% общей площади полей). За исследуемый период динамика выявлена на 980,0 га, или на 21,2% территории, причем площадь улучшения мелиоративной обстановки (489,5 га) практически равна площади ее

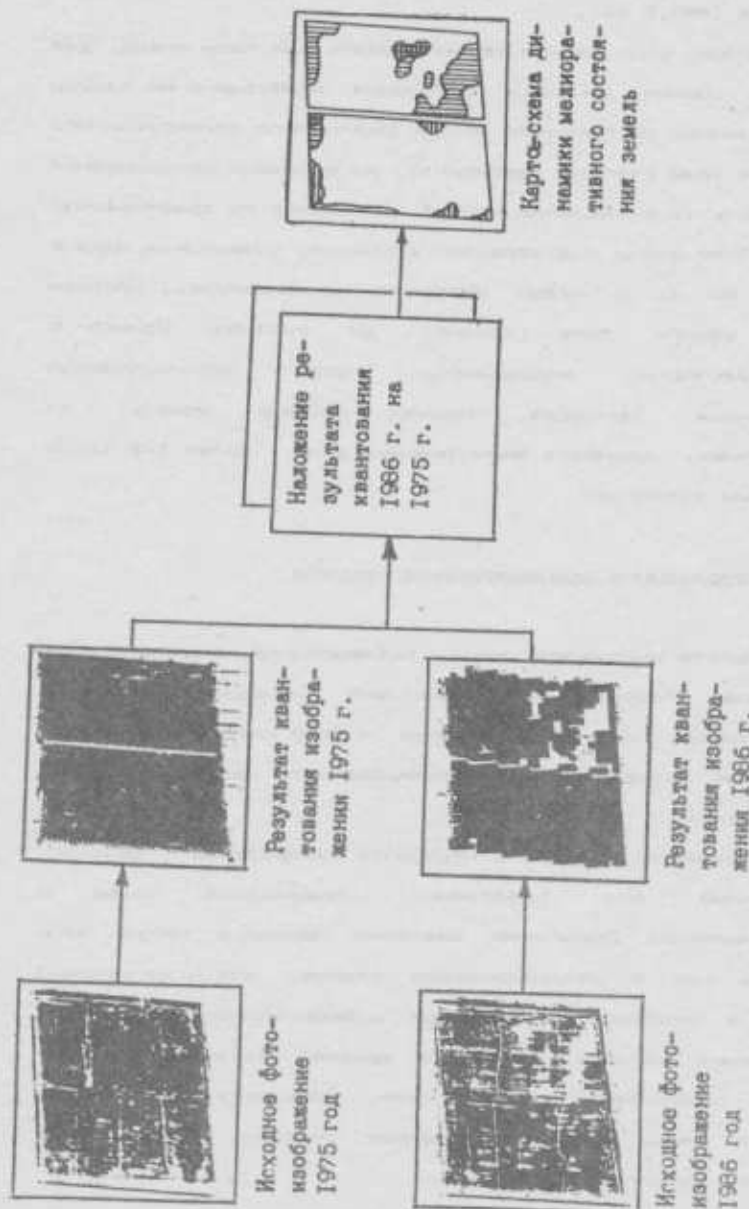


Рис. 36. Схема проведения работ по автоматизированной оценке динамики мелиоративного состояния земель совхозов № 6 и № 10

ухудшения (490,5 га).

На основе этих данных можно сделать еще один вывод. Для реальной оценки динамики засоления необходимо не только наличие данных по площадям земель различного нелиоративного состояния (или степени засоления), но и знание расположения этих земель (т.е. наличие карты) по каждому из сравниваемых сроков. Этот вывод подтверждает ситуация, выявленная нами в совхозе № 6. В целом ситуация не изменилась, площади земель одного типа сошли до гектара. Однако в действительности наблюдалось два противоположно направленных процесса, причем площадь земель, их подверженных, занимает значительную долю — более 1/5 части территории хозяйства.

Автоматизированное дешифрирование снимков

В результате экспериментальных исследований, рассмотренных в начале главы, были выделены наиболее надежные информативные признаки, которые и были положены в основу разработки программы автоматизированного дешифрирования. Перечислим их.

1. Плотность фототона элемента изображения — признак, достаточный для разделения изображения почвы и растительности. Пороговые значения признака могут быть получены как в автоматическом режиме, так и достаточно быстро и надежно определяться дешифровщиком. Однако для определения четырех различных уровней засоленности этот признак практически не пригоден, поскольку зависимость работает лишь на ограниченном участке, а дисперсия превышает допустимые значения.

2. Размер пятна-выпада (белого пятна). Как показали наши полевые наблюдения, этот признак является устойчивым. Если размер пятна превышает 6х6 кв.м то почвы в его пределах в районе исследования всегда засолены. Единичные пятна меньшей площади могут быть обусловлены как засолением, так и другими причинами, в том числе случайными помехами на снимке.

3. Устойчивым признаком средних степеней засоления является крап - мелкая пятнистость. Под этим признаком понимается регулярное чередование мелких пятен, площадь которых не превышает 30-40 кв.м (в натуре). Как и при квантовании на два уровня, минимальный размер однородного светлого контура был принят равным 0,15 кв.см - для светлых контуров (сильное засоление), темного - 1,0 кв.м (слабое засоление или незасоленные).

4. Расстояние от исследуемой точки до границы пятна-выпада можно использовать для оценки засоления, если расстояние не больше 30-40 м. Переходная зона от пятна-выпада к фону характеризуется средним и слабым засолением.

5. Средняя яркость фототона учитывается при достаточно больших для усреднения площадях (не менее 30 элементов, т.е. 120 м² в натуре при масштабе 1:10000). Этот признак наиболее устойчив и используется в разработанной методике при окончательной классификации выделенных областей.

Технология работ включает два этапа. На первом этапе - сегментации - выделяются области (контуры), относящиеся к четырём "грубым" градациям засоленности (незасоленные, слабо-, средне- и сильнозасоленные). На втором этапе эти области могут классифицироваться более точно -

количественно. Точное определение, однако, может быть проведено только на основании анализа данных полевых наблюдений при картировании конкретных территорий.

Наши исследования 1987-1988 гг. показали, что для территорий, где проводились наблюдения, т.е. для центральной части Голодной степи, возможно надежное определение четырех основных градаций засоления. К этим градациям относятся: 1) сильное засоление, характеризующееся полным выпадом хлопчатника на площади, превышающей критическое значение (0,25 га), т.е. крупные пятна-выпады. Значение нижней границы сильного засоления (по натрий-иону) в районе работ составляет примерно 4 мг-экв/100г почвы в слое 0-100 см; 2) среднее засоление, характеризующееся некропятистым изображением, соответствующим частичному выпадку или угнетению хлопчатника. Средняя засоленность предполагается также в ближайшей окрестности крупных пятен. Нижняя градация также устанавливается экспериментально; 3) слабое засоление предполагается в дальней окрестности крупных пятен; 4) фоновое засоление, т.е. засоление, которое характеризует устойчиво хорошее состояние хлопчатника. Очевидно, что для разных районов эта величина будет несколько меняться и поэтому также требует экспериментального определения. В нашем случае эта величина составляет около 0,5 мг-экв/100г почвы по натрию.

Еще раз подчеркнем, что все числовые величины, относящиеся к градациям засоления и расстояния, определяются в процессе полевых работ на клеевых участках и являются входными данными для обобщенного алгоритма.

Входным этапом обобщенного алгоритма является также

автоматическое или интерактивное определение пороговых значений фототона, соответствующих участкам растительности и открытой почве.

В качестве иллюстрации машинного дешифрирования засоления почв на рис. 37 представлен фрагмент аэрофотоснимка, результат его автоматизированной обработки (распечатка на матричном принтере в условном масштабе) и поконтурная ведомость (табл. 23) с подсчетом площадей выделенных контуров и засоления почв.

Работу по созданию методики машинного дешифрирования снимков и картографированию засоления почв на сегодня нельзя считать завершённой.

Работа, проведенная нами в сотрудничестве с отделом АКМ Союзгипроводхоза, позволила формализовать дешифровочные признаки, разработанные ранее для визуального дешифрирования засоления орошаемых почв хлопкосеющих территорий по крупномасштабным аэрофотоснимкам. На базе формализованных признаков разработана, программно реализована автоматизированная технология дешифрирования засоления почв по аэрофотоснимкам. Эта технология функционирует на машинном комплексе КОАКМ института Союзгипроводхоза. Нами проведена ее полевая проверка.

Считаем, что использование автоматизированной технологии дешифрирования аэрокосмических снимков является неременным условием функционирования дистанционного мониторинга засоления почв.

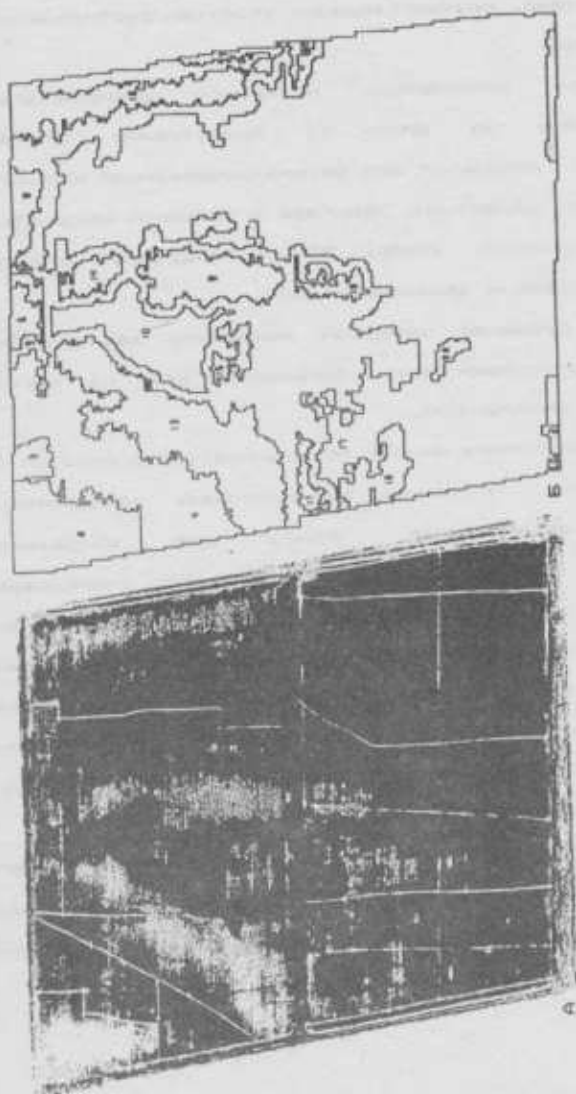


Рис. 37. Фрагмент аэрофотоснимка М. 1:10000 (А) и результат его автоматизированной обработки, распечатанный на матричном принтере в условном масштабе (Б)

Таблица 23. Поконтурная ведомость результатов автоматизированного дешифрирования засоления почв

Контур	Площадь, га	Степень засоления	Средняя яркость
1	77,96640	Не опред.	126
2	1,84880	Сильная	99
3	0,27520	Средняя	50
4	13,56000	Слабая	38
5	0,32000	Средняя	63
6	0,28960	Слабая	45
7	0,22240	Сильная	79
8	1,19520	Сильная	78
9	0,40320	Средняя	60
10	1,64480	Фоновая	27
11	0,21760	Сильная	78
12	1,46400	Сильная	77
13	3,33440	Сильная	90
14	0,35200	Сильная	77
15	0,25600	Средняя	62
16	0,62240	Средняя	53
17	26,04000	Фоновая	28
18	0,30080	Средняя	67
19	0,26240	Слабая	45
20	0,14080	Слабая	42
21	0,19520	Средняя	50
22	0,12080	Средняя	68

Итого: Na⁺, мг-экв/100 г почвы

Площадь 8,63360 га - сильная засоленность - > 4.

Площадь 2,49340 га - средняя засоленность - 2-4.

Площадь 14,25280 га - слабая засоленность - 1-2.

Площадь 26,68480 га - фоновая засоленность - < 1.

Площадь 77,96440 га - внешняя окрестность полей.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА
ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

До настоящего времени нет научно обоснованной программы работ по организации мониторинга засоления почв орошаемых территорий, хотя актуальность этой проблемы очевидна. На основе выполненных исследований мы предлагаем такую программу.

1. Необходимо обосновать выбор объекта наблюдений. Объект наблюдений должен быть высокоинформативным, отражающим состояние почв и их плодородие на момент исследования, чутко реагировать на любые изменения природной среды; легко контролироваться на основе дистанционных и наземных (контактных) методов.

Для районов орошения хлопкосеющей зоны таким объектом наблюдений является засоленность слоя почвы 0-100 см. Это было доказано нашими предыдущими исследованиями, изложенными выше.

2. Необходимо разработать метод дистанционной диагностики засоления почв. Эта работа была начата нами в начале сенидесятых годов (Панкова, Мазиков, 1975). В настоящее время создана методика дистанционной диагностики засоления почв по аэро- и космоснимкам (Панкова, Мазиков, 1985; Панкова, Головина и др., 1986). Доказано, что анализируя фотонизображения снимков, отвечающих строго определенным требованиям, можно получать надежную информацию о засолении слоя 0-100 см почв хлопковых полей. При этом следует принимать во внимание как тон, так и

рисунок фотонизображения.

В настоящее время можно считать доказанным, что дистанционная диагностика засоления почв должна быть положена в основу мониторинга засоления почв орошаемых территорий. Разработанный нами метод диагностики засоления почв через фотонизображение позволяет получать информацию о засолении почв орошаемых территорий с надежностью 0,7-0,9 в зависимости от свойств объекта наблюдений. При этом оценивается степень засоления в слое 0-100 см и доля участия засоленных почв. Состав солей по фотонизображению оценивать не удается.

3. Необходимо определить требования к материалам аэро- и космосъемки, которые несут достаточную информацию о засоленности почв, ибо не все снимки одинаково информативны.

На основе большого экспериментального материала было установлено, что для оценки засоления почв необходимо использовать снимки, отвечающие строго определенным требованиям. Это панхроматические, а также многозональные, синтезированные снимки или снимки красной зоны (0,6-0,7 мкм) осенних сроков съемки. Снимки инфракрасной зоны (0,7-0,9 мкм) дают дополнительную информацию о переувлаженности территории, но использовать их как главную основу для работы при дешифрировании засоленности орошаемых почв невозможно.

4. Необходимо разработать метод машинного дешифрирования снимков и картографирования засоления почв. Нами совместно с отделом аэрокосмических исследований Союзгипроводхоза решается эта проблема. Получены первые результаты. Программа составлена Д.С.Минским (Союзгипроводхоз) на

основе разработанной нами методики с учетом фототона и рисунка фотоизображения.

Навешное дешифрирование повышает точность и оперативность анализа фотоизображения. Сегодня можно утверждать, что навешная обработка позволяет выделять контуры однородные и неоднородные по засолению почв, выявлять незасоленные и очень сильнозасоленные почвы. Идентификация средних и слабых степеней засоления требует дополнительного обоснования и дальнейшего совершенствования навешного дешифрирования снимков.

5. Необходим выбор метода наземного контактного определения засоления почв для контроля дистанционных методов. Этот метод должен быть оперативным и точным. В настоящее время разрабатываются и опробуются геофизические методы оценки засоленности почв, но они пока не дали хороших результатов. За рубежом широко используется метод оценки засоления почв по электропроводности вытяжек из паст. У нас широко используется метод водных вытяжек, при этом оценка засоления проводится по отдельным ионам — Na , Cl , HCO и т.д. (в зависимости от химизма засоления). Для оценки засоления почв любого химизма наиболее информативным показателем является натрий-ион, для изучения динамики засоления наиболее информативным можно считать хлорид-ион. Однако метод анализа засоленности почв требует дальнейшего совершенствования.

6. Необходима разработка технологии составления карт засоления почв на основе фотоснимков как картографической основы, на которой отображены почвы разной степени засоления. Сюда должна входить и технология работ по сбору наземной информации. Нани в Методических указаниях

(Пансова, Мазиков, 1985) строго определены сроки выполнения солевых съемок (август - октябрь), а также метод сбора информации, на основе которого могут составляться почвенно-солевые карты. Указаны также подходы к оценке кондиционности и точности составленной карты, но эту задачу пока нельзя считать решенной.

7. Необходимо определить требования к изучению динамики засоления почв. Экспериментальные исследования показали, что сопоставление фотонизображения снимков, снятых в одном режиме, в одинаковый сезон съемки, на одну и ту же территорию позволяет судить о многолетней динамике засоления почв. В третьей главе приведены данные по методике составления карт динамики засоления и их анализу, рассмотрены ограничения и возможности этого метода, показано, что анализ фотонизображения снимков случайно взятых лет не всегда позволяет достоверно судить о направленности солевой динамики. Необходима организация постоянных наблюдений за изменением засоления почв.

8. Для получения достоверной информации о динамике засоления необходимо данные дистанционного зондирования дополнить сведениями о водно-солевом балансе территории. Только сочетание этих сведений позволит оценить, в каком направлении идет процесс, в чем причины его развития, и что надо сделать, чтобы изменить его направление.

Таким образом, для решения вопроса о динамике засоления, для составления прогноза развития солевых процессов и разработки рекомендаций по их регулированию необходимы сведения о водно-солевом балансе территории как главным показателе причин солевой динамики территории.

9. Необходимо создание банка данных для хранения и организации сведений о засолении почв орошаемых территорий и разработка комплекса программ для выполнения расчетов и получения статистически обоснованных выводов о состоянии засоления почв объекта наблюдений и процессов, протекающих в орошаемых почвах.

Организацию дистанционного мониторинга засоления почв можно разделить на три основных этапа.

1. Инвентаризация засоленных почв на основе материалов аэрокосмической съемки, получение объективной информации о засолении орошаемых почв на момент исследования.

2. Изучение сезонной и многолетней динамики засоления почв и скорости процессов засоления - рассоления.

3. Вскрытие причин, определяющих солевую динамику и составление прогноза развития засоления - рассоления почв и разработка рекомендаций по управлению этими процессами.

Наши работы показали, что первая из перечисленных задач практически решена и может реализоваться на конкретных объектах орошения Средней Азии. Вторая задача решена принципиально, находится на стадии разработки технологии и может быть реализована в ближайшее время. Третья задача, наиболее сложная, требует привлечения мелиораторов, гидрогеологов, математиков и других специалистов и находится пока на стадии постановки.

Общая схема дистанционного мониторинга приведена на рис. 38. В этой схеме особо не выделено использование базы данных. Предполагается, что вся информация, которая может быть использована в дальнейшем, помещается в базу данных и затем используется на соответствующих этапах.

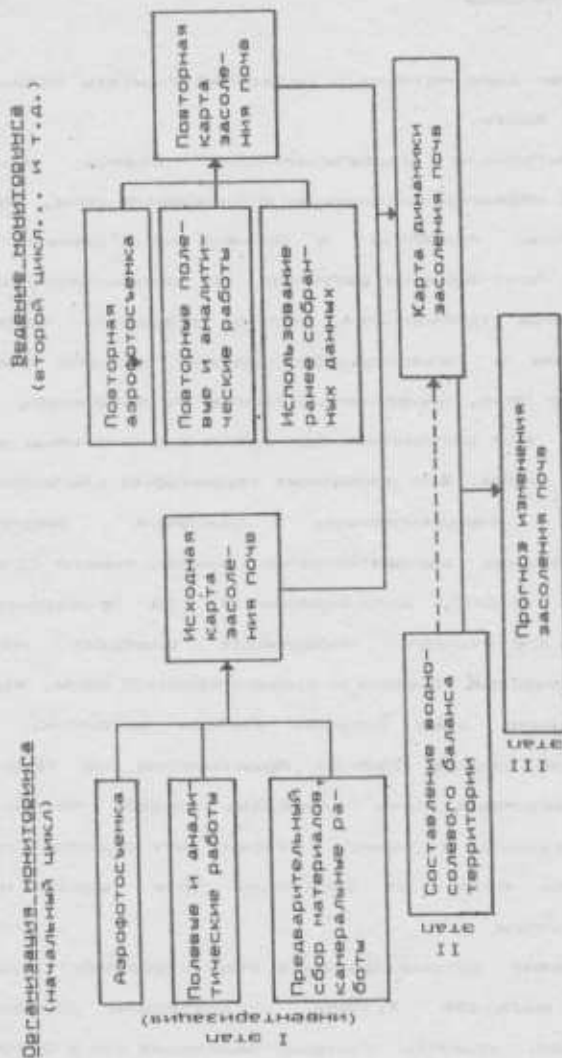


Рис. 38. Общая схема дистанционного мониторинга засоления орошаемых почв

Общее заключение

Приведенные выше материалы позволяют считать установленными следующие факты.

1. Материалы аэрокосмических съемок обеспечивают получение надежной информации о засолении почв, поэтому они могут быть положены в основу мониторинга засоления орошаемых почв аридных регионов. По фотоснимкам, отвечающим определенным требованиям, можно разделить территории с засоленными и незасоленными почвами, оценить доли участия засоленных почв, определить степень их засоления.

2. Не все фотоснимки одинаково информативны для оценки засоления почв. Для орошаемых территорий хлопкосеющей зоны наиболее информативными являются многозональные синтезированные аэрофотоснимки раннеосеннего срока съемки масштаба 1:10000, выполненные в год проведения солевой съемки. Достаточную информацию содержат черно-белые панхроматические снимки и снимки красной зоны, выполненные в указанном выше режиме. Снимки весенних, зимних и раннелетних сроков съемки практически не пригодны для оценки засоления почв хлопковых полей. Не пригодны для солевой съемки и снимки старых лет залетов, по которым можно лишь судить о засолении почв только на период аэрофотосъемки.

3. Анализ фотонизображения (тон и рисунок) позволяет по снимкам масштаба 1:10000, отвечающим указанным выше требованиям, оценить степень засоления слоя 0-100 см почв хлопковых полей (орошаемых не менее 5 лет). Достоверно выделяются четыре степени засоления почв: незасоленные, слабо-, средне- и сильнозасоленные.

Учет площадей засоленных почв для цели мониторинга должен проводиться по аэрофотоснимкам крупного масштаба, либо по космоснимкам высокого разрешения.

4. Нами определены дешифровочные признаки для выделения разной степени засоления почв по панхронатическим снимкам крупного масштаба и предложена технология работ по составлению карты засоления почв хлопкосеющей зоны по аэрофотоснимкам и карты динамики засоления.

5. Программа мониторинга засоления почв (в том числе орошаемых земель) включает: 1) инвентаризацию засоленных почв, 2) изучение динамики засоления и 3) составление прогноза солевых процессов и рекомендаций по их регулированию.

Наши разработки могут быть положены в основу решения двух первых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андроников В.Л. Аэрокосмические методы изучения почв. М.: Колос, 1979. — 280 с.

Андроников В.Л., Панкова Е.И., Боскова В.И. и др. Опыт составления карты орошаемых территорий Средней Азии с использованием материалов космической съемки — как нового метода изучения нелиоративного состояния почв // Современные методы исследования состояния почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. — 123 с.

Андроников В.Л., Королик Т.В. Использование дистанционных методов в почвоведении и сельском хозяйстве // Итоги науки и техники. Бионити. Почвоведение. 1985. No 5. С. 3-179.

Андроников В.Л., Афанасьева Т.В., Калнина В.А., Королик Т.В., Панкова Е.И. Теоретические и методические основы изучения почвенного покрова дистанционными методами // Успехи почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 185-190.

Андроников В.Л., Добровольский Г.В. Космические проблемы географии, картографии и плодородия почв // 100 лет генетического почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 184-194.

Антонова С.И., Кравцова В.И. Опыт использования космических многозональных снимков для изучения засоления территорий // Исследование природной среды космическими средствами. М.: ВНИИТИ, 1976. С. 131-139.

Аэрокосмические методы в почвоведении. М.: Колос, 1989. — 128 с.

Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. М.: Наука, 1990. — 246 с.

Бернштейн М.Н., Минский А.Е. и др. Методы автоматизиро-

ванной обработки аэрокосмических изображений //

Рациональное использование водных ресурсов. М.: Наука, 1984. Вып. 1. С. 62-70.

Бутвищенко Т.П. Изучение состояния посевов хлопчатника по многозональным аэрофотоснимкам с целью обработки методики дешифрирования космических снимков // Космическая съемка и тематическое картографирование. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 198-201.

Бутвищенко Т.П., Кондратьева Ю.И., Лабутина И.А. Изучение состояния посевов хлопчатника и особенностей почвенного покрова по многозональным аэрофотоснимкам // Космическая съемка и тематическое картографирование. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 181-191.

Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышекин А.Д. Введение в индикационную геоботанику. М.: Изд-во МГУ, 1962.

Виноградов Б.В. Аэронотоды изучения растительности аридных зон. М. и Л.: Наука, 1966. - 361 с.

Виноградов Б.В. Преобразованная земля. М.: Мысль, 1981. - 295 с.

Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. - 320 с.

Востокова Е.И. Использование аэрокосмических снимков при гидрогеологических исследованиях в пустынях. М.: Наука, 1980. - 160 с.

Вышекин А.Д. Космическая географическая интерпретация космических снимков в целях тематического картографирования. Засоление земель // Исследование природной среды космическими средствами. М.: ВИНТИ, 1975. Т. 4. С. 34-37.

Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга

окружающей среды // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1975. No 3. С. 13-25.

Головина Н.Н., Минский Д.Е., Панкова Е.И., Соловьев Д.А. Применение наземного дешифрирования аэроснимков для картографирования засоления почв хлопосеющей зоны // Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. М.: Наука, 1990. С. 226-231.

Гусенков Е.П. Основы разработки и особенности производства солевых съенок на объектах нелиоративного строительства // Сб. науч. тр. В/О "Сокзаводпроект". 1979. No 52. С. 46-66.

Гусенков Е.П., Панкова Е.И. Состав и объем почвенно-нелиоративных исследований для обоснования проектов нелиоративных систем на засоленных землях // Методы изучения и повышения плодородия засоленных почв: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1986. С. 5-14.

Дейвис Ш.М., Лангребе Д.А., Филлипс Т.Л. Дистанционное зондирование. М.: Недра, 1983. - 415 с.

Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1972. - 292 с.

Дополнение к методике по качественному и количественному учету засоленных земель колхозов и совхозов Узбекской ССР / Составитель Фирджанов А.Б. Ташкент, 1989. - 27 с.

Духовный В.А. Брошение и освоение Голодной степи. М.: Колос, 1973. - 240 с.

Емельянов В.А., Горбачев В.В., Харитонов В.А. Аэрокосмические методы оценки засоления нелиорируемых земель // Вестн. с.-х. науки. 1980. No 7. С. 120-128.

Занана С.П., Воробьева Л.А. Группировка почв по показателям щелочности // Агрохимия. 1989. No 1. С. 15-20.

Зонн С.В. Перспективы применения аэрокосмической съемки в целях мелиорации и охраны окружающей среды // Гидротехника и мелиорация. 1975. No 7. С. 122-126.

Зонн С.В., Мазиков В.М., Горина М.А., Лобов Р.А. Перспективы изучения почвенного покрова аэрокосмическими методами // Почвоведение. 1980. No 4. С. 37-45.

Зонн С.В. Космический этап в изучении географии почвенных ресурсов // Современные проблемы генезиса и географии почвы. М.: Наука, 1983. С. 158-160.

Израэль И.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - 375 с.

Инструкция по почвенным изысканиям для мелиоративного и водохозяйственного строительства / Министерство мелиорации и водного хозяйства. М., 1975. - 89 с.

Канилов О.К. Мелиорация засоленных почв Узбекистана. Ташкент: Фан, 1987. - 230 с.

Керзун П.А., Зенан Г.Г. Крупномасштабная съемка для мелиоративных целей в орошаемой зоне Таджикской ССР // Тез. докл. на V Всесоюз. Совещ. по проблеме 052.000 в Новочеркасске 12-17 июня 1967 г. / САНИИРИ. Ташкент, 1967. С. 10-11.

Козлечков Г.А., Андреев Г.И., Родионова Л.М. Краткие методические указания по использованию аэрофотоматериалов и фотопиндикации для оценки мелиоративного состояния орошаемых земель (на примере Азовской оросительной системы) / ЮЖНИИМ. Новочеркасск, 1973. - 47 с.

Козловский Ф.И., Королюк Т.В., Пантелеев В.П., Янковский В.А. Метод машинного анализа аэроснимков при почвенно-мелиоративной характеристике территорий // Почвенно-мелиоративные процессы в районах нового орошения:

Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1975. С. 86-96.

Козловский Ф.И., Королев Т.В. Применение оптико-структурного наземного анализа при детальном почвенно-мелиоративном картировании // Почвоведение. 1980. No 9. С. 145-159.

Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос. 1977. - 224 с.

Кравцова В.И. Космическое картографирование. М.: ВНИИТИ, 1977. - 168 с.

Легостаев В.М. Мелиорация засоленных земель. Ташкент: Фан, 1959. - 154 с.

Мазиков В.М. Засоление почв Новой зоны орошения Голодной степи по данным обследования 1975-1976 гг. на основе материалов аэрофотосъемки // Почвоведение. 1978. No 9. С. 74-85.

Манедов Э.А. Изучение засоленных земель и солончаков с помощью космических методов // Исследование Земли из космоса. 1985. No 1. С. 60-61.

Манедов Р., Нагиев П.Ю. и др. Исследование и картографирование засоленных земель с использованием методов дистанционного зондирования // Тез. докл. VI делегат. съезда ВООП. Тбилиси, 1981. Кн. 4. С. 147.

Маргулис В.Ю. Количественная оценка засоленности почв для промывок засоленных земель // Почвы крупнейших ирригационно-мелиоративных систем в хлопководческой зоне: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1975. С. 3-78.

Методика составления крупномасштабных почвенных карт с применением материалов аэрофотосъемки. М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 116 с.

Методика по качественному и количественному учету

засоленных земель колхозов и совхозов Узбекской ССР. Ташкент, 1981. - 16 с.

Методические рекомендации по использованию материалов аэрокосмической фотосъемки для оценки засоленности орошаемых земель / Министерство меллиорации и водного хозяйства СССР, ВНИИГиМ, 1982. С. 16.

Методические указания по проведению почвенно-солевых съемок на мелиорируемых землях / МСХ СССР и Минводхоз СССР. М., 1983. - 36 с.

Методические рекомендации по использованию материалов аэрофотосъемки для оценки засоления почв и проведения солевых съемок орошаемых территорий хлопководческой зоны в крупных и средних насаждениях / Составители Е.И.Панкова, В.М.Мазиков. Почвенный институт им.В.В.Докучаева. М., 1985. - 73 с.

Минский Д.Е., Чижовский А.М. Быстрая байесовская классификация многозональных изображений // Исследование Земли из космоса. 1982. № 1. С. 10-15.

Минский Д.Е., Поликов М.Е., Фейгин М.М. Автоматизированная технология вычисления геометрических параметров контурных изображений // Рациональное использование водных ресурсов. М.: Наука, 1986. Вып. 6. С. 132-140.

Минский Д.Е., Фейгин М.М. Автоматизированное предварительное дешифрирование аэрокосмической видеосинформации: выделение объектов и оценка их параметров // Рациональное использование водных ресурсов. М.: Наука, 1986. Вып. 6. С. 159-167.

Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос, 1973. - 94 с.

Орлов Д.С., Лопухина О.В., Суханова Н.И. Количественные закономерности отражения света почвами // Биол. науки, 1982. No 1. С. 92-96.

Орлов Д.С., Караваева Е.И., Панкова Е.И. Влияние легко-растворимых солей на спектральную отражательную способность почв серозонной зоны // Почвоведение, 1991. No 4. С. 120-134.

Панкова Е.И., Мазиков В.М. Оценка засоления почв однородных по фотоизображению контуров // Бюл. Почв. ин-та ин. В.В. Докучаева. 1975. Вып. IX. С. 24-34.

Панкова Е.И., Мазиков В.М. Методические вопросы использования аэрофотоснимков для характеристики засоления почв // Почвенно-мелиоративные процессы в районах нового орошения: Науч. тр. Почв. ин-та ин. В.В. Докучаева. М., 1975. С. 97-111.

Панкова Е.И., Мазиков В.М. Оценка засоления орошаемых почв хлопковых полей по аэрофотоснимкам (на примере Голодной степи) // Почвоведение. 1976. No 5. С. 55-56.

Панкова Е.И., Мазиков В.М. Дистанционные методы исследования при составлении карт засоления орошаемых территорий // Тез. докл. V делегат. съезда. Минск, 1977. Вып. 4. С. 272-273.

Панкова Е.И., Мазиков В.М., Исаев В.А., Яннова И.А. Опыт использования аэрофотоснимков для характеристики засоления почв неорошаемых территорий серозонной зоны // Почвоведение. 1978. No 3. С. 82-85.

Панкова Е.И., Головина Н.Н., Панадиани Е.А. Опыт составления картосхем мелиоративного состояния орошаемых земель Средней Азии по материалам аэро- и космосъемки // Тез. докл. VII делегат. съезда ВОО. V комиссия. Ташкент, 1985.

С. 146.

Панкова Е.И., Головина Н.Н. и др. Опыт оценки засоления почв орошаемых территорий Средней Азии по материалам космической съемки // Почвоведение, 1986. No 3. С. 138-146.

Панкова Е.И., Соловьев Д.А. Картирование почв орошаемых территорий хлопкосеющей зоны по космическим снимкам // Бюл. Почв. ин-та им.В.В.Докучаева. 1987. Вып. XII. С. 52-56.

Панкова Е.И., Долинина Е.А. Сопоставление засоления почв Голодной степи в различные годы // Мелиорация и водное хозяйство, 1992. No 1. С. 31-33.

Почвенная съемка (руководство по полевым исследованиям и картографированию почв). М.: Изд-во АН СССР. 1959. - 346 с.

Почвенные изыскания для мелиоративного строительства ВСН-33-2.1, 02-85 / Мин-во мелиорации и водного хозяйства СССР. М., 1985. - 38 с.

Программа и методы экологического мониторинга в биосферных заповедниках. Пушино, 1981. - 36 с.

Розанов Б.Г., Большаков В.А. и др. Роль основополагающих докучаевских концепций в постановке и решении современных проблем мониторинга почв // 100 лет генетического почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 202-210.

Розанова Е.И., Лопухина О.В. Спектральная отражательная способность почв аридных территорий (СССР). Ред. ж. "Биологические науки" (рукопись деп. в ВИНИТИ 26.05.88). М., 1988. - 41 с.

Сорокина Н.П. Об информативности и точности почвенных карт // География и генезис антропогенноизмененных и естественных почв. Науч. тр. Почв. ин-та им.В.В.Докучаева.

М., 1986. С. 93-101.

Составление и использование детальных почвенных карт: методические рекомендации / Составитель Н.П.Сорокина. Почв. ин-т им.В.В.Докучаева. М., 1977. - 52 с.

Составление крупномасштабных почвенных карт с показом структуры почвенного покрова (методические рекомендации) / Составители: Шишов Л.А., Сорокина Н.П., Панкова Е.И. Почв. ин-т им.В.В.Докучаева. М., 1989. - 56 с.

Толчельников Ю.С. Оптические свойства ландшафта применительно к аэрофотоснимкам. Л.: Наука, 1974. - 252 с.

Фейгин М.М. Метод параллельных вычислений геометрических параметров объектов контурных изображений // Исследование Земли из космоса. 1983. No 6. Харин Н.Г. Дистанционные методы и охрана пустынь. М.: Наука, 1980. - 102с.

Харитонов В.А. Методика и результаты определения степени засоленности орошаемых земель Ферганской области по космическим снимкам // Рациональные методы и средства в мелиорации. М.: ВНИИГиМ, 1982. С. 107-115.

Харитонов В.А., Емельянов А.Н. Фотометрический метод оценки засоленности почв по аэрокосмическим фотоснимкам // Методы и средства автоматических науч. исследований в гидротехнике и мелиорации. М., Минводхоз СССР, 1988. С. 38-42.

Хасанов А.С., Шерфетдинов Л.З. Аридный гидрогеологический процесс. Ташкент: Фан, 1987. - 150 с.

Шабанов В.В., Рудаченко В.В. Типизация объектов сельскохозяйственных мелиораций // Вестн. с.-х. науки. 1971. No 1. С. 83-86.

Шуравилин А.В. Регулирование водно-солевого режима почв Голодной степи. М.: Изд-во УДН, 1989. - 189 с.

Manuel of Remote Sensing, USA. 1983. V.I, II. 2047 p.

Myers V.T., Carter D.L., Rippent W.G. Remote sensing for estimationg soil salinity // J. of the Irrigation and draipag Division. 1966. V.92. No 4. Pp. 27-31.

Richards L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA // Agric. Handbook. 1954. No 60. 160 p.

Richardson A.I., Berbermann L.M., Gausmann N.W., Cuellar J.A. Detection of saline soils with sky law., multispectral, scaner date photogramm engineering and remote sensing. 1976. No 42 (5). Pp. 679-684.

Sinamiwong S., Wichaidisha P., Pramojape P., Trakuldist P. The use of Landsat imagere for soil salinity studies in the northeast of Thailand // Thai.T.Agricil. Sci., Bangkok. 1980. V.13. No 3. Pp. 227-238.

Soil survey investigation of irrigation. Kome, FAO, 1979, Soil Bull. H-42, 188 p.

Tharwat Kamol Chabour and Luc Daels. Visial interpretation of Landsat M.S.S. images for the detection of soil-affected soils (Egypt), Inter Congress of Soil. Sci., Hamburg, 13-20, 8, 1986. Pp. 1519-1520.

Thompson H.D., Pract N.A., Sonnerfeldt F.Y. Landsat for delineation and mapping of saline soils in dry sand areas in Southern Alberta // 4th Canadian Symp. of Remote Sensing. Sept. 8-11, 1981.

Глава первая. ПОНЯТИЕ "МОНИТОРИНГ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ"	5
Глава вторая. ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ	10
Состояние проблемы	10
Метод дистанционной диагностики засоления орошаемых почв хлопковых полей	18
Постановка вопроса	18
Требования к материалам фотосъемки, используемым для оценки засоления почв орошаемых земель Средней Азии	21
Сроки проведения фотосъемки	23
Типы съемки	28
Использование сканерной съемки при мониторинге засоления почв	30
Масштабы съемки	34
Дешифровочные признаки засоления почв хлопковых полей	39
Технология проведения солевых съемок и составления карт засоления почв для целей инвентаризации орошаемых земель	59
Анализ существующих методов проведения солевых съемок орошаемых земель	59
Требования к выполнению почвенно-солевых съемок орошаемых территорий	64
Технология работ по составлению карт засоления почв орошаемых территорий хлопководческой зоны в целях мониторинга	70
Использование материалов космической съемки для оценки засоления почв	102

Глава третья. ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИКИ ЗАСОЛЕНИЯ	
ПОЧВ	110
Общие требования к повторным соевым съёмкам	110
Традиционные методы оценки динамики засоления почв	113
Составление и использование карты динамики засоления почв	122
Глава четвертая. МАШИНЫЕ МЕТОДЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОФОТОСНИМКОВ С ЦЕЛЬЮ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ .	
Зависимость яркости фотонизображения от засоления почв	138
Связь рисунка фотонизображения с засолением почв ..	143
Методические приемы автоматизации дешифрирования аэрофотоснимков при составлении карт засоления почв	151
Интерактивное дешифрирование	152
Квантование изображения на два тоновых уровня ..	154
Оценка динамики деградативного состояния земель на основе квантования на два тоновых уровня	161
Автоматизированное дешифрирование снимков	164
Глава пятая. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИИ ..	
ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ	176
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	178

CONTENTS

Chapter 1. The concept of soil salinity monitoring	5
Chapter 2. Remote diagnostics of the soil salinity	10
The state of the problem.....	10
The remote sensing technique to estimate the salinity of irrigated soils under cotton.....	18
The formulation of the question.....	18
Requirements to materials of aerial survey.....	21
Types of aerial survey.....	28
Scanning survey used for soil salinity monitoring	30
Scales of aerial survey.....	34
Diagnostic features of salinity of soils under cotton	39
Technology as related to the salt survey and compiling the maps of soil salinity in view of assessing the soil under irrigation.....	59
Comprehensive analysis of all the existing methodics to conduct the salt survey of areas under irrigation....	59
Requirements to survey of salt-affected soils under irrigation.....	64
Technology of compiling the maps of the salt salinity with in cotton zone in view of monitoring.....	70
Aerial and outer space materials used to estimate the soil salinity.....	102
Chapter 3. Remote monitoring of the soil salinity dynamics.....	110
Common requirements to repeated salt survey.....	110
Compiling and using the map of the soil salinity dynamics.....	122
Chapter 4. Automated decoding of aerial and space materials	

for the purposes of mapping the soil salinity.....	138
Dependence between the brightness of photoimage and the soil salinity.....	138
Photoimage picture as related to the soil salinity..	143
Methodical measures for automated decoding of aerial and outer space materials to compile maps of the soil salinity.....	151
Interactive decoding.....	152
Quantitative division of photoimage in two tones	154
Estimation of the dynamics of the soil meliorative state based upon quantitative division of photoimage in two tone levels.....	161
Automated decoding of photographs.....	164
Chapter 5. Scientific-methodical basis for the organization of soil salinity monitoring under irrigation.....	170
CONCLUSION	176
LIST OF LITERATURE	178

Научное издание

Панкова Евгения Ивановна,
Соловьев Дмитрий Андреевич

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАСОЛЕННЫХ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

Ответственный редактор - академик РАСХН Л.Л.ШИШОВ

(Российская акад. с.-х. наук. Почв. ин-т им.В.В.Докучаева).

Утверждено к печати Почвенным институтом им.В.В.Докучаева

Редактор К.Т.Острикова
Технический редактор Т.М.Нагишкина

Подписано в печать 19.01.93.
Формат 60х84 1/16. Офсетная печать. Бунага офс.
Печ.л. 8,35. Уч.-изд. л. 9,2. Тираж 500 экз.
Заказ . Цена договорная

Почвенный институт им.В.В.Докучаева, 109017, Москва, Ж-17,
Пыжевский пер., д.7

