## В. Г. Юферев, О. Ю. Кошелева, С. С. Шинкаренко, Н. А. Ткаченко, А. М. Пугачёва

### КРИТЕРИИ СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ И ВОДООХРАННЫХ НАСАЖДЕНИЙ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

УДК 528.630.001,911.52:551.435.16 ББК 26.17:40.6:43.47

Критерии состояния и эффективности стокорегулирующих и водоохранных насаждений речных бассейнов / В. Г. Юферев [и др.]. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2019. – 100 с.

Критерии состояния и эффективности стокорегулирующих и водоохранных насаждений речных бассейнов представляют собой систему для оценки состояния и эффективности лесных насаждений, выполняющих функцию защиты водосборов от деградации, в том числе смыва плодородного слоя почвы и выноса продуктов смыва в гидросеть. Эти критерии позволяют выявить эффективность защитных функций с использованием геоинформационных систем, геоинформационных технологий современного уровня и передовых методов анализа и обработки данных аэрокосмических съемок.

Criteria of the status and effectiveness of flow-regulating and water protection plantations of river basins / V. G. Yuferev [et al.]. – Volgograd: FNC of agroecology of RAN, 2019. – 100 p.

Criteria of the status and effectiveness of flow – regulating and water protection plantations of river basins is a system for assessment the status and effectiveness of forest plantations that perform the function of protecting watersheds against degradation, including flushing of fertile soil and removal of flushing products into the hydraulic system. These criteria allow to reveal the effectiveness of protective functions with the use of geoinformation systems, geoinformation technologies of modern level and advanced methods of analysis and processing of aerospace surveys data.

Рецензент – А. Т. Барабанов, доктор сельскохозяйственных наук.

ISBN 978-5-9909843-3-2

© В. Г. Юферев, О. Ю. Кошелева, С. С. Шинкаренко, Н. А. Ткаченко, А. М. Пугачёва, 2019

© ФНЦ агроэкологии РАН, 2019

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Определение состояния и эффективности стокорегулирующих, прибалочных, приовражных, балочных, овражных и водоохранных, защитных лесных насаждений Волжского бассейна является самостоятельной задачей, решение которой позволяет оценить качество их функционирования, прогноз смыва почвы, связанного с уровнями деградации таких насаждений в будущем и своевременно применять систему мер по поддержанию функционального режима защитных лесных насаждений.

Наземные исследования, проводимые на больших территориях, требуют повышенных затрат времени и средств и не обеспечивают постоянный мониторинг выше перечисленных типов ЗЛН как экологически динамичного объекта. Актуальным в этой связи является проведение компьютерной оценки уровней деградации насаждений по данным дистанционного зондирования. Для установления соответствия результатов аэрокосмической съемки и реального состояния насаждений должны проводиться полевые исследования на тестовых участках с определением таксационных характеристик древостоя и созданием фотоэталонов различных уровней деградации и категорий состояния насаждения. Дистанционная съемка защитных насаждений позволяет осуществлять непрерывный мониторинг и оценивать динамику их экологического состояния. Информация заключается в комбинации оптической плотности серого тона для панхроматических или в комбинации основных цветов для спектрозональных и цветных снимков.

Приоритетным направлением, определяющим содержание и повышение эффективности функционирования лесных насажде-

ний по защите Волжского бассейна, должно стать экологически сбалансированное природопользование, направленное на сохранение окружающей природной среды и здоровья человека [75].

Состояние ЗЛН непосредственно влияет на величину смыва и уровень загрязнения продуктами выноса притоков и основных водотоков гидрографической сети. При стоке воды и смыве почвы с пашни выносится от 10 до 30% вносимых удобрений и пестицидов, что оказывает негативное влияние на экологическое состояние территории, особенно на качество воды в реках, прудах и водохранилищах.

Принятие и оптимизация решений на проведение мероприятий по поддержанию устойчивости водосборных бассейнов невозможно без объективных критериев их реального состояния и функциональной эффективности, причем не только количественных, но и географо-картографических (пространственных) и временных. Таким образом, при наличии ответов на вопросы: что, где, когда происходит и с какой скоростью идут процессы, – мы можем выстроить систему для оценки состояния и эффективности лесных насаждений, выполняющих функцию защиты водосборов от деградации, в т. ч. смыва плодородного слоя почвы и выноса продуктов смыва в гидросеть. Поставленную задачу призвана решить система критериев, позволяющих выявить эффективность защитных функций с использованием геоинформационных систем (ГИС), базирующихся на них геоинформационных технологий современного уровня и передовых методов анализа и обработки данных аэрокосмических съемок.

#### 1. МЕЛИОРАТИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТОКО-РЕГУЛИРУЮЩИХ И ВОДООХРАННЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Интенсивно возрастающий дефицит пресной воды на земле выдвигает в число первоочередных задач поиск путей и способов более полного и рационального использования водных ресурсов. Большое внимание при этом уделяется преобразованию речных систем, очистке вод от загрязняющих веществ, строительству водохранилищ и других сооружений по регулированию стока в водных объектах, искусственному пополнению запасов подземных вод и т. д. Все эти мероприятия требуют больших капитальных затрат, неизбежно сопровождаются нарушением сложившихся природных экосистем и, в частности, затоплением либо подтоплением земель на значительных площадях. Вместе с тем неоправданно мало внимания уделяется регулированию влагооборота непосредственно на водосборах с помощью естественных сил природы, главным звеном которых выступают лесные сообщества как наиболее мощные, саморегулирующиеся и долговечные экосистемы [19].

Согласно Водному кодексу РФ [18], водоохранными зонами являются территории, которые примыкают к береговой линии (границам водного объекта) морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ, и на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. Лесные насаждения, расположенные в водоохраной зоне, непосредственно выполняют защитные функ-

ции для водного объекта.

Под защитными лесными насаждениями (ЗЛН) понимают естественные и искусственно созданные насаждения, мелиоративные и средообразующие свойства которых используются для защиты различных объектов от неблагоприятных природных или антропогенных воздействий. В широком смысле защитными свойствами обладают все леса, участвуя в накоплении органического вещества, обогащении атмосферы кислородом, регулировании стока, охране почв, водных источников и т.д. Мелиоративные свойства ЗЛН обеспечиваются большой органической массой, накапливаемой лесонасаждениями, и теми изменениями в почве и окружающей среде, которые возникают в течение их жизни вследствие ежегодного лесного опада, деятельности животного и растительного мира этих экосистем. ЗЛН своим покровом предохраняют почву от водной и ветровой эрозии, укрепляют разветвленными корнями берега рек, водоемов, оврагов, эродируемых балок. В речных долинах и на водосборах лесные насаждения регулируют поверхностный сток, очищают его от ила и вредных химических соединений, обеспечивая полноводность и чистоту рек, улучшая условия судоходства и рыбоводства.

В зависимости от объекта и цели защиты, а также от характера природного агента (ветра, снега, стока и т. д.) и местоположения ЗЛН разделяются на 2 основные группы [90]:

- 1. Преимущественно искусственные насаждения аграрного назначения на сельскохозяйственных землях и в составе сельскохозяйственных угодий других категорий земель. Их основная задача сохранять и повышать плодородие почвы, создавать условия для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, повышать производительность лугопастбищных угодий и продуктивность животноводства, обеспечивать благоприятную экологическую среду для жизни и работы сельского населения.
  - 2. Естественные и искусственные насаждения хозяйственно-

технического, санитарно-гигиенического, рекреационного назначения, расположенные на несельскохозяйственных землях (лесной и водный фонд, земли промышленности и транспорта, городских и сельских администраций, земли запаса, природоохранного и иного назначения). Их основная задача — защищать хозяйственные объекты и земли от деградации, разрушения, снижения ими функциональных свойств, пожаров, снежных и песчано-пыльных заносов, осуществлять климаторегулирующие, гидрологические, санитарногигиенические функции, создавать условия для здоровой жизни и отдыха людей.

- Н. А. Воронков [19] выделял семь категорий лесов по главнейшим гидрологическим функциям:
- 1) водоохранные стокоувеличивающие (экономное расходование влаги на суммарное испарение);
- 2) водоохранные конденсационные (образование горизонтальных осадков);
  - 3) водоохранные водоочищающие;
  - 4) водоохранно-водорегулирующие снегоперехватывающие;
- 5) водоохранно-водорегулирующие стокоперехватывающие (поверхностный сток, поступающий со смежных пространств);
- 6) водорегулирующие инфильтрационные (перевод поверхностного стока в подземный на занимаемой территории);
- 7) водорегулирующие десукционные (увеличение суммарного испарения).

Эколого-мелиоративное значение лесных насаждений очень велико и чаще всего многофункционально: всякое насаждение в одно и то же время является и почвозащитным, и ветроломным, и стокорегулирующим, и водоохранным, и рекреационным. Придорожные, прибалочные, водоохранные насаждения оказывают определенное защитное воздействие на прилегающие сельскохозяйственные угодья (табл. 1). Поэтому деление ЗЛН на группы и виды в значительной мере условно и помогает лишь акцентировать в конкретных местоположениях их ведущую функцию.

Таблица 1 Экологическая эффективность ЗЛН

Основной показатель	Открытая	Защищенная	
Основной показатель	территория	территория	
Запасы воды в снеге, мм	70,0-80,0	110,0-120,0	
Впитывание воды в почву, мм	58,0-63,0	100,0-108,0	
Поверхностный сток, мм	19,0-20,0	6,0-7,0	
Смыв почвы, м <sup>3</sup> /га	3,0-4,0	0,5-0,7	
Суммарное испарение влаги за вегетационный период, мм	750,0-760,0	625,0-640,0	

В современных условиях в связи с обострением экологических проблем природопользования и жизнеобеспечения, возрастанием экологической напряженности в активно осваиваемых человеком регионах понятие ЗЛН становится неотделимым от понятия экологического каркаса территории (ЭКТ), под которым понимается структурно-функциональный жизнеобеспечивающий остов территории, сомкнутая система зон и узлов максимального напряжения гео- и биопотоков и их наибольших градиентов. При освоении любой территории ее экологический каркас должен рассматриваться как ведущий показатель, влияющий на выбор наиболее эффективного и в то же время жестко регламентируемого режима природопользования. С его помощью проводится более объективная оценка и определяется назначение таких видов деятельности, которые обеспечивают во вновь формируемой среде благоприятные жизненные условия и ее охрану [66].

Защитные лесные насаждения в ЭКТ должны быть представлены различными видами: полезащитные ветроломные и стокорегулирующие и водоохранные лесные полосы, противо-эрозионные инженерно-биологические системы, Государственные защитные лесные полосы (ГЗЛП), насаждения вдоль путей транспорта, вокруг населенных пунктов, – и другими, более специализированными, видами насаждений (рис. 1).

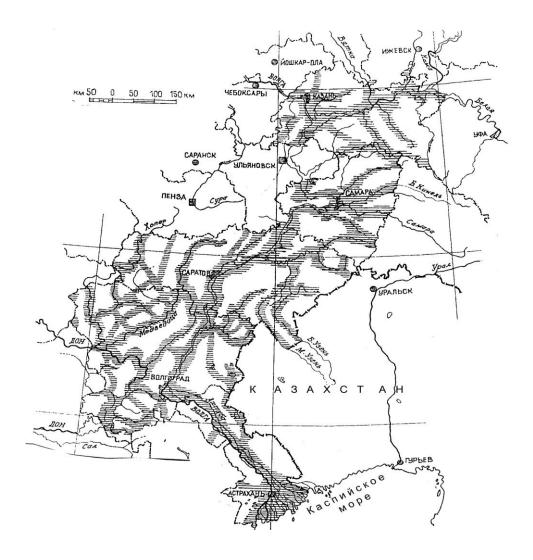


Рис. 1. Схема экологического каркаса Волжского региона [8]

Во многих случаях ЗЛН являются основным пространственно-организующим элементом экосистемы, обладающим высокой устойчивостью и продолжительностью воздействия на среду. Лесомелиоративная часть ЭКТ обладает достаточной жесткостью, поскольку насаждения, нередко усиленные гидротехническими сооружениями, представляют собой долговечные биоинженерные системы, прочно закрепляющие границы угодий или их отдельных частей.

ЗЛН наряду с естественными лесами, колками, байрачными естественными насаждениями и перелесками являются устойчивыми и биологически активными элементами ЭКТ, обладают высоким биоэнергетическим потенциалом. ЗЛН обладают выраженным

экотонным эффектом, когда на рубежах между насаждениями, составляющими каркас, и соседними угодьями образуются особые зоны повышенной биоэнергетики. Здесь контактируют элементы обеих приграничных территорий; эти зоны выполняют важные ландшафтные функции (в т. ч. мембранные и барьерные), оказывая значительное влияние на строение и функционирование смежных экосистем (например, леса и поля, леса и воды, леса и пастбища). В сущности, это новые ремизы, и чем гуще их сеть на территории, тем больше проявляется совместное влияние на нее ЗЛН.

Защитные насаждения играют важную роль в предотвращении загрязнения водоемов патогенной микрофлорой. Как известно, наиболее опасными источниками биогенного заражения водоемов являются животноводческие комплексы. Создание вокруг них лесных насаждений в сочетании с организацией простейших инженерных устройств (валы, мелкие пруды и т. п.) позволяет в десятки раз снизить микробное загрязнение воды.

Изменение водных угодий под влиянием лесомелиорации проявляется в повышении прозрачности воды при одновременном снижении содержания взвеси, органических веществ, общего фосфора, а также улучшении кислородного режима на протяжении всего вегетационного периода. Кроме того, при этом наблюдается подъем биологической продуктивности (количество фитопланктона возрастает в 6-8 раз).

Санитарно-гигиеническая роль ЗЛН проявляется в снижении распространения и концентрации вредных газов и пыли, улучшении качества воздушной среды защищенных ландшафтов. Минимальный гигиенический эффект обеспечивают молодые двухрядные лесополосы (шириной 4 м) из вяза приземистого, имеющие защитную высоту 12 м и умеренно-ажурную конструкцию. С увеличением ширины и густоты насаждений гигиеническая эффективность их возрастает. Установлено, что под пологом насаждений вблизи источников загрязнения содержание поллютантов в 2-3,3

раза ниже, чем на аналогичных безлесных участках.

Системы ЗЛН являются мощным экологическим фактором, определяющим рекреационно-эстетический облик лесоаграрных территорий. В лесонасаждениях формируются более комфортные микроклиматические условия для отдыха населения по сравнению с открытой местностью, особенно в южной части Волжского бассейна. Наибольшие различия отмечены по показателям освещенности: в полупустыне они достигают 84-91, в сухой степи 77-93 %. По относительной влажности воздуха различия соответственно 11-19 и 13-22 %. Еще более повышает рекреационные качества насаждений наличие ягод, плодов, грибов и лекарственного сырья.

Водоохранные насаждения улучшают микроклимат и гидрологический режим территории водосборов, предохраняют воды от загрязнения, поддерживают высокую водность рек, способствуют увеличению запасов подземных вод, переводя поверхностный сток во внутрипочвенный, защищают берега рек от разрушения, аккумулируют аллювий в поймах, снижают температуру воды в реках, тем самым улучшая условия нереста рыб. Особое значение водоохранные насаждения имеют в степной и лесостепной зонах европейской части России, где они замедляют движение воздушных масс, обостряют фронтальные процессы в атмосфере, усиливают конвекцию воздуха и ускоряют выпадение атмосферных осадков.

Согласно исследованиям А. В. Побединского [71], гидрологическая роль леса во многом зависит от количества выпадающих осадков и распределения их по сезонам года. Как известно, осадки являются одной из важнейших составных частей водного баланса. При выпадении над лесом они перераспределяются: часть их задерживается кронами деревьев, подлеском, подростом и травяным покровом и испаряется, не достигая поверхности почвы, другая, незначительная, стекает по стволам. Большее же количество осадков достигает поверхности почвы и просачивается в нее.

Трансформирующее влияние леса на осадки зависит от по-

родного состава древостоев, лесоводственно-таксационных особенностей фитоценозов, сезона года, интенсивности осадков и других факторов. Проникновение осадков к поверхности почвы зависит и от строения древостоев. Сложные и разновозрастные древостои задерживают большее количество осадков, чем простые и одновозрастные. Количество осадков, достигающих почвы, зависит от интенсивности дождя.

В текущем столетии для исследования влияния леса на осадки в различных районах Земного шара были использованы многочисленные данные наблюдений метеорологических станций в районах с различной лесистостью. Эти исследования позволили получить более или менее согласованные выводы об увеличении количества осадков под влиянием леса, а для ряда районов выявить зависимость между количеством осадков и лесистостью местности. Установлено, что в лесных районах Московской обл. и прилегающих к ней областей осадков выпадает примерно на 10 % больше по сравнению с малолесными [33]. В республиках Татарстан и Марий Эл с увеличением лесистости на каждые 10 % количество осадков возрастает примерно на 2 %.

В большинстве районов нашей страны значительный удельный вес составляют осадки в виде снега. Согласно А. А. Молчанову [63], все насаждения, кроме еловых, способствуют большему накоплению снега по сравнению с безлесными участками. Продолжительность и интенсивность снеготаяния под пологом леса зависят от состава, сомкнутости и возраста древостоев. Например, в Московской обл. продолжительность таяния снега на полях составляет 6-12 дней, в сосновых лесах 15-20, в еловых 35-40 дней. В березняках Подмосковья снег в среднем сходит на неделю позже, чем в поле [63, 85].

Лес оказывает трансформирующее влияние не только на солнечную радиацию, температуру и влажность воздуха и почвы, твердые и жидкие осадки, но и на замерзание и оттаивание поч-

вы. Глубина и степень промерзания почвы, а также динамика ее оттаивания имеет большое гидрологическое значение. Мерзлые почвы обычно отличаются плохой водопроницаемостью, что способствует резкому возрастанию поверхностного стока. Глубина промерзания почвы колеблется в зависимости от метеорологических условий, мощности снежного покрова, влажности почвы, уровня грунтовых вод, состава и строения почвы, произрастающей на ней растительности и ряда других факторов. В тех случаях, когда выпадению снега предшествуют сильные морозы, почва промерзает на значительную глубину и, наоборот, если снег выпадает до наступления морозов, почва, особенно под пологом леса, часто не промерзает. Влияние лесных насаждений на поверхностный сток сводится к преобразованию его во внутрипочвенный. Этот эффект проявляется в основном в результате влияния леса на увеличение порозности и инфильтрации почвы. Водопроницаемость почвы, т. е. способность пропускать воду, измеряется количеством влаги, поступающей в нее с поверхности за единицу времени. Зависит она в основном от структурности почвы, ее физического состояния и гранулометрического состава [33].

Лесные насаждения оказывают значительное влияние на структуру почвы. Участки почвы, длительное время занятые лесом, отличаются содержанием большого процента устойчивых структурных агрегатов, что является результатом комплексного воздействия корневых систем деревьев и опада, формирующегося в надземной части насаждений. Влияние корневых систем деревьев проявляется во взаимосвязанном механическом и биологическом воздействии на почву. В процессе роста корневых систем, накопления объема и массы корневой древесины происходит раздвигание почвенных частиц и образование корневых ходов. Одной из особенностей формирования корневых систем является так называемый корнепад, т. е. естественное отмирание определенной части корней. В результате в почве образуются скважины, и по-

вышается ее водопроницаемость. Влияние лесной подстилки на поверхностный сток также обусловлено ее физическими свойствами. Лесная подстилка, сформировавшаяся из органического опада, как физическое тело, обладает большой водопроницаемостью и влагоемкостью. Она способна удерживать массу воды в 6-7 раз больше собственной и при этом не терять водопроницаемости. Представляя механическое препятствие на пути движения водного потока, подстилка снижает скорость его, и сток воды внутри нее и под ней замедляется. В период выпадения дождя лесная подстилка гасит кинетическую энергию падения дождевых капель, предохраняя структурные агрегаты почвы от распыления. Еще Г. Н. Высоцкий [20] отмечал большое значение лесной подстилки как фактора, увеличивающего водопроницаемость. По его данным, в период сильных дождей лесная подстилка предотвращала поверхностный сток даже при уклоне поверхности 22°, в то время как на участках без лесной подстилки он проявлялся уже при уклоне 16°.

Влияние лесных насаждений на сток талых вод проявляется, прежде всего, через рассмотренные выше факторы повышения порозности и водопроницаемости почвы, наблюдаемые в самом насаждении и примыкающих к нему зонам. Кроме того, почва в лесных насаждениях под влиянием лесной подстилки и накапливаемого снега не промерзает или промерзает в незначительной степени. Это приводит к тому, что в лесонасаждении почва полностью поглощает талую воду, в то время как на поверхности мерзлой почвы в поле формируется существенный поверхностный сток. При этом интенсивность снеготаяния в лесном насаждении в несколько раз меньше, чем в открытом поле, что удлиняет период впитывания влаги почвой.

В пределах открытых пространств степи встречаются байрачные дубравы — лесные массивы, урочища в степной и лесостепной зонах, произрастающие в лощинах, балках, нижних частях межбалочных водосборов и на коренных берегах речных до-

лин [86]. Байрачные дубравы по отношению к общей площади дубрав составляют в Тамбовской обл. 10 %, Курской – 61 %, Орловской – 64 %. Наибольшая часть байрачных лесов приходится на балки. Являясь первичным звеном речной сети, балочные системы представляют микромодель древнего эрозионного рельефа; весьма сходны с ними по морфологии коренные берега речных долин [35]. На приводораздельных и присетевых склонах северной и восточной лесостепи байрачные дубравы по своей структуре, видовому составу, устойчивости и долговечности мало чем отличаются от массивных дубравных насаждений. На склонах теневых экспозиций обычно произрастают высокополнотные насаждения с участием теневых спутников или кустарников. Трехъярусные насаждения формируются в нижней трети пологих склонов теневых экспозиций. На склонах световых экспозиций, даже при их небольшой крутизне, из состава насаждений выпадают теневые спутники дуба, и их место занимают кустарники. На крутых склонах, особенно южных экспозиций, формируются низкополнотные чистые дубняки IV класса бонитета. В дубравах по очень крутым склонам южных экспозиций (20-25°) формируются чистые дубняки с выраженными признаками остепнения. Дубовые леса на приводораздельно-присетевых склонах как по состоянию, так и по таксационным показателям на порядок выше, чем балочные. На склонах до 8° байрачные леса выполняют преимущественно стокорегулирующие функции, а на более крутых – противоэрозионные. При отсутствии ложбинности байрачный лес шириной 70-100 м, произрастающий на балках или коренных берегах речных долин, способен зарегулировать сток с вышележащих склонов протяженностью 400-600 м. Это гарантирует предотвращение оврагообразования и выноса биогенных веществ в водотоки. При наличии байрачных лесов можно не создавать прибалочные, приречные и приовражные лесные полосы. В системе байрачных лесов в гидрографическую сеть сносится в 2-3 раза меньше снега, чем на безлесных водосборах.

При отсутствии байрачных лесов долевое участие оврагов в площади балок достигает 4,8 %, при лесистости 10% - 4,1%, 20% - 3,0%, 30% - 2,2%, 40% - 1,8%, 50% - 1,6%, более 50% - 0,8%. Насаждения дуба на откосах оврагов и берегах балок за 70-80 лет кольматируют до 80-100 см почвенных частиц, в результате чего в самых жестких условиях ранее смытых почв насаждения трансформировались с IV класса бонитета до I-го с запасом  $300-350\text{ м}^3$ /га. Объем водопоглощения под дубовыми насаждениями в верхних слоях почвы оказался в 20-25 раз выше, чем под древостоями другого состава. Благодаря мощной корневой системе, произрастающие на смытых известняковых почвах береговых речных долин насаждения дуба полностью предотвращают их разрушение [4, 35].

Таким образом, естественные леса и искусственно созданные лесные насаждения играют значительную средообразующую роль, а также выполняют почвозащитные функции, способствуя уменьшению поверхностного стока и смыва почвы, закреплению оврагов, накоплению почвенно-грунтовых вод, повышению почвенного плодородия и т. д. Это подтверждается и тем, что активные вырубки лесов привели к активизации негативных процессов деградации земель.

#### 2. АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Рациональное размещение лесов на водосборной площади имеет решающее значение в стабилизации экологической обстановки на ней. Бассейн любой реки является саморегулирующей экологической системой. Особенно велика роль лесов в формировании водного баланса. Леса способствуют накоплению воды, закрепляют почву, предотвращают их смыв, стабилизируют водный баланс, повышают урожайность сельскохозяйственных культур, ослабляют и нивелируют засухи. Они же выполняют огромную климаторегулирующую роль.

Гидроклиматическая роль леса тесно связана с таким показателем как *лесистость*, которая определяется отношением покрытой лесом площади к общей площади территории (страны, района и т. д.), выраженным в процентах.

Лесистость территории — показатель динамичный. Он меняется в зависимости от природных лесорастительных условий, распределения насаждений на водосборной площади, рельефа и степени эродированности местности, крутизны склонов и хозяйственной освоенности территории. Следовательно, лесистость территории в широком плане определяется исходя из состояния и целевого назначения земель, а также самих лесных насаждений. При этом очень важно учитывать их многофункциональное назначение.

Лесистость является наиболее важным экологическим показателем состояния территории, который входит в качестве параметра в ряд индикаторов устойчивого развития (например, индекс соотношения "антропогенной нагрузки" и "экологической емкости", индекс антропогенной преобразованности территории). Различают разные уровни лесистости [63]:

- минимально необходимая сдерживает эрозию почвы в малолесных и безлесных сельскохозяйственных районах;
- оптимальная степень облесенности территории, при которой леса по характеру своего размещения, породному составу, возрастной структуре и величине продуктивности наилучшим образом выполняют свое назначение как источника получения древесины, или по степени влияния на климат и почву, или по тому и другому показателю вместе [56];
- гидрологическая обеспечивает на водосборе благоприятный водный режим;
- экономическая лесистость показатель обеспеченности лесными сырьевыми ресурсами определенной территории.

Путем регулирования породного и возрастного состава лесных насаждений, их полноты и строения водоохранно-водорегулирующую роль леса на водосборе можно повысить в 1,3-1,5 раза и больше. Причем, более эффектно эта роль леса проявляется при оптимальном соотношении лесных и безлесных территорий, оптимальной облесенности конкретных категорий земель и научно обоснованном территориальном размещении лесов; при правильном использовании мелиоративного фонда, других категорий земель с целевым их назначением. Только путем формирования оптимальной лесистости всей территории бассейна реки в целом, а также тех категорий земель, которые входят в его состав, можно обеспечить заметное повышение водоохранно-водорегулирующей роли леса [57].

Так, минимально необходимая лесистость для защиты сельскохозяйственных полей должна составлять 2-6 %, а оптимальная лесистость, обеспечивающая охрану окружающей среды в равнинных условиях, — 8-15 %. По рекомендации А. А. Молчанова [63], лесистость для северной подзоны хвойно-широколиственных лесов должна достигать 30-40 %, южной подзоны этих же

лесов — 20-25 %, лесостепной зоны — 15-20 %, степной — 10-12 %, сухостепной — 4-5 %. При этом процент лесистости необходимо рассчитывать для каждой зоны с учетом почвенно-климатических условий и экономической целесообразности. Прогнозный расчет необходимой лесистости для территорий, испытывающих "лесной дефицит", представлен в табл. 2.

Таблица 2 Лесистость малолесных территорий Волжского бассейна [63]

Регион	Лесистость, %			
Гегион	фактическая	оптимальная		
Астраханская обл.	2,2	7,0		
Волгоградская обл.	3,6	15,0		
Республика Калмыкия	0,2	5,0		
Оренбургская обл.	4,1	15,0		
Орловская обл.	8,0	15,0		
Пензенская обл.	20,5	26,0		
Самарская обл.	12,5	20,0		
Саратовская обл.	5,2	15,0		
Тамбовская	10,5	19,0		
Республика Татарстан	16,3	25,0		
Тульская обл.	12,7	15,0		

Леса Волжского бассейна представлены всей гаммой типов – от темнохвойной тайги и широколиственных лесов до нагорнобайрачных лесов в степи. Общая площадь лесов на территории Волжского региона составляет 94,2 млн га, в т. ч. непосредственно покрытая лесом — 81,5 млн га. Леса первой группы, выполняющие наиболее важные водоохранные и защитные функции, составляют 19,6 млн га (около 21 % от общей площади лесов). Сегодня лесистость в целом по региону составляет 35 %, однако она распределена крайне неравномерно: от 0,2 % в Калмыкии и 2 % в Астраханской обл. до 70-75 % в Костромской и Вологодской обл. (рис. 2). Существует тесная связь между лесистостью и способностью природно-территориальных комплексов выполнять те или иные экосистемные функции, например, водоох-

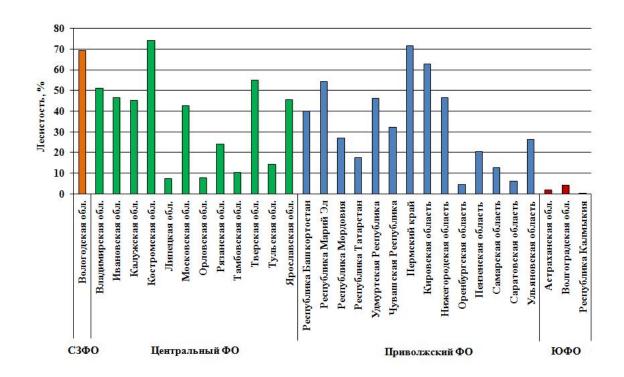


Рис. 2. Лесистость территории административных районов, входящих в Волжский бассейн по состоянию на 2015 г., % [66, 72]

Таблица 3 Лесистость лесных районов Волжского бассейна, % [30]

Посмой жойом	Лесистость				
Лесной район	наибольшая	наименьшая	средняя		
Среднетаежный	87,8	77,1	83,9		
Южнотаежный	79,8	60,8	73,5		
Хвойно-широколиственных лесов	68,5	23,0	51,9		
Лесостепной	27,9	11,4	22,2		
Степной	13,9	0,3	4,7		

ранные и водорегулирующие [29]. Из табл. 3 видно, что уровень лесистости в среднетаежном (8 субъектов РФ) и южно-таежном (10 субъектов РФ) лесных районах Волжского бассейна достаточно высок (превышает 75 %), благодаря чему пока сохраняется объем основного стока речных систем бассейна в Волгу. В лесостепном и степном лесных районах лесистость Волжского бассейна существенно ниже. Кроме того, низкие показатели лесистости характерны для черноземных регионов европейской части России: Липецкой,

Орловской, Тамбовской и Тульской обл., в которых леса были сведены в угоду аграрного освоения территории.

Неравномерная лесистость территории часто является следствием концентрации промышленного производства в хвойношироколиственном лесном районе и незавершенности систем ЗЛН в лесостепном и степном лесных районах европейской части страны. Например, в Башкортостане и Татарстане, а также в Ульяновской обл. процесс фрагментации настолько интенсивен, что лесистость хвойно-широколиственного района снизилась, по сути, до уровня лесостепного района.

По данным Г. С. Розенберга [76], средняя лесистость территории всего Волжского бассейна в конце XVII в. была более 54 %, а к началу XX в. она составляла уже 31 % (табл. 4). В результате вырубки лесов, многократно возросшей после отмены крепостного права, был нарушен водный баланс Волги, исчезли многие мелкие реки. Волга прогрессивно мелела, складывались крайне неблагоприятные условия для судоходства.

Как видно из данных табл. 4, динамика лесистости до 1914 г. была, в основном, отрицательной. Для разных территорий уменьшение лесистости от уровня 1696 г. было в 1,5-3 раза; исключение наблюдается лишь для Саратовской обл., где 2-кратное уменьшение лесистости отмечалось только во 2-й половине XX в. Проблемы обезлесения территории и связанные с ними процессы деградации земель привлекли внимание в конце XIX в. В Самарской обл. были предприняты первые попытки повышения лесистости территории. С 1889 по 1906 гг. под руководством лесовода Н. К. Генко были созданы водораздельные лесные полосы в малолесной степной заволжской части Самарской губернии (более 7,8 тыс. га, 17 полос). Они представляют собой лесные ленты шириной 639 м, расположенные ломаными линиями различной длины (до 25 км) по наиболее возвышенным частям водоразделов притоков Волги – рек Сок и Падовки, Самары и Чапаевки.

Таблица 4 Изменение лесистости по Волжскому бассейну за период 1696-1988 гг. (по 24 основным административным районам, представляющим 90 % площади Волжского бассейна) [42]

Регионы	Лесистость, %						
Волжского бассейна	1696	1763	1868	1887	1914	1970	1988
Тверская обл.	73,0	57,7	34,6	35,0	24,2	37,9	50,0
Ярославская обл.	52,3	49,8	35,9	37,2	28,2	37,3	44,8
Костромская обл.	85,1	76,5	71,4	64,7	65,7	70,4	73,7
Ивановская обл.	66,4	60,8	57,0	48,8	44,8	40,5	43,9
Владимирская обл.	49,7	48,6	46,8	37,2	26,4	48,1	51,6
Московская обл.	48,3	45,2	36,5	36,3	25,2	40,7	41,7
Нижегородская обл.	63,2	58,9	53,0	43,6	43,6	46,1	46,2
Рязанская обл.	46,4	37,3	21,0	18,9	18,6	25,3	26,0
Тульская обл.	24,2	18,2	8,6	9,4	7,8	12,4	12,7
Калужская обл.	50,9	45,2	26,6	30,7	24,8	43,3	44,6
Республика Мордовия	49,2	42,6	34,9	26,2	23,4	27,2	25,5
Пензенская обл.	41,5	33,7	26,1	18,1	15,1	21,5	20,5
Республика Чувашия	53,3	47,0	37,7	30,2	27,7	31,2	29,6
Республика Марий Эл	72,3	64,4	49,0	38,6	32,4	57,6	54,4
Кировская обл.	89,1	83,2	72,5	58,2	46,5	58,7	61,9
Республика Татарстан	71,4	62,2	47,8	38,0	32,3	16,7	16,3
Удмуртская республика	87,3	80,4	68,3	52,2	40,2	45,7	45,9
Ульяновская обл.	36,9	35,1	33,0	26,4	25,0	25,8	26,2
Самарская обл.	33,6	29,0	25,3	20,5	17,8	12,4	12,5
Республика Башкортостан	78,2	64,6	52,5	41,8	35,4	39,0	39,0
Саратовская обл.	12,7	11,4	10,9	10,5	12,1	5,1	5,2
Пермский край	73,7	70,1	74,4	57,2	59,5	63,3	70,0
Волгоградская обл.	8,7	7,8	6,9	6,7	7,3	3,4	3,6
Астраханская обл.	2,5	2,0	0,6	0,4	0,9	2,4	2,2

В настоящее время эти лесополосы сохранились и находятся в хорошем состоянии с разнообразным по составу древостоем (Генковская водораздельная лесная полоса), способны к естественному возобновлению. Генковские лесополосы в настоящее время являются ООПТ регионального значения и представляют собой ценный результат прошлого степного лесоразведения в Заволжье.

Важное место в защитном лесоразведении занимают работы Особой экспедиции Лесного департамента (1892-1899 гг.) в степях

России под руководством В. В. Докучаева. Эти работы положили начало комплексному экологическому исследованию степей и методов их облесения на научной основе. Осуществлены производственные опыты по рациональной организации территории и посадке различных видов ЗЛН вокруг водоемов, на орошаемых участках, лугах и пастбищах. Впервые были научно обоснованы место и роль лесонасаждений в агроэкосистемах.

В советский период защитное лесоразведение становится планомерным государственным мероприятием по борьбе с засухой, суховеями и эрозией почвы. В Постановлении Совета Труда и Обороны от 29 апреля 1921 г. "О борьбе с засухой" в обязанность Центральному лесному отделу вменялось развить в государственном масштабе работы по укреплению оврагов и песков путем создания древесных насаждений, в частности в районах Саратовской, Самарской, Царицынской, Астраханской, Тульской и Донской обл.; устройству снегосборных полос и изгородей; облесению вырубок, гарей и других безлесных пространств в засушливых районах, а также в верховьях и по берегам рек. В период с 1928 по 1932 гг. было посажено 212 тыс. га лесных полос и с 1933 по 1937 гг. – 278 тыс. га.

До 1941 г. в СССР было создано свыше 900 тыс. га ЗЛН, но наибольший размах защитное лесоразведение получило в послевоенные годы в связи с Постановлением директивных органов от 20 октября 1948 г. "О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР" и от 20 марта 1967 г. "О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии". К концу 1991 г. на бывшей территории СССР имелось 5,6 млн га ЗЛН (без ГЗЛП и других насаждений несельскохозяйственного назначения). В России на начало 1994 г. имелось 2750 тыс. га насаждений, в т. ч. 1233 тыс. га полезащитных,

1008 тыс. га противоэрозионных, 97 тыс. га на аридных пастбищах, 360 тыс. га на песках и 52 тыс. га по берегам малых рек и вокруг поселков.

Кроме того, почти за три десятилетия (с 1966 г.) на европейской территории России в 2 раза сократилась площадь вырубок, более чем в 2 раза площадь пустырей и прогалин, в 5 раз площадь редин, гарей и погибших насаждений. Только за два десятилетия (1973-1993 гг.) осущено и переведено в покрытые лесом земли около 3 млн га болот и облесено более 100 тыс. га песков [29].

Однако после 90-х годов XX в. темпы и качество лесомелиоративных и лесохозяйственных работ критически снизились и стали носить некомплексный, фрагментарный характер. Статистика лесовосстановления в Волжском бассейне за период с 1992 по 2008 гг. (рис. 3) показывает сокращение этого процесса по средним оценкам на 70 % [76].

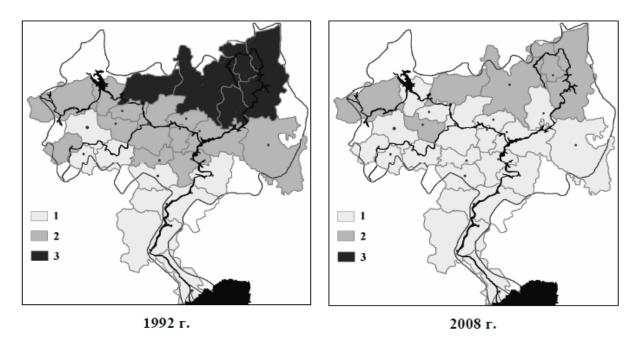


Рис. 3. Лесовосстановление в Волжском бассейне, га/км $^2$  (1 – до 0,14; 2 – 0,14-0,28; 3 – 0,28-0,42)

Обзор рассмотренного вопроса позволяет уверенно сказать, что лесистость Волжского бассейна дифференцирована в зависимости как от естественноисторических, так и от экономических

условий различных административных районов и не остается одинаковой во времени. Наиболее полно и эффективно ландшафтообразующая роль лесных насаждений проявляется при оптимальной лесистости. В силу большого территориального охвата Волжского бассейна оптимальная лесистость в его пределах существенно меняется в зависимости от природных условий и хозяйственной освоенности территории.

На современном этапе назрела необходимость разработки мероприятий по сохранению и формированию на всей территории Волжского бассейна таких природных ландшафтов, которые выполняли бы роль естественных регуляторов условий жизни человека, растительного и животного мира (создание, фактически, "экологического каркаса" территории). Особенно важно выявить кризисные зоны экологического бедствия с нарушенными и разрушающимися природными экосистемами, поврежденными и усыхающими лесами и т. д. При разработке планов мероприятий необходимо сфокусировать усилия на ликвидации неблагоприятных факторов, наносящих вред природе, обратив внимание в первую очередь на такие решения, которые требуют минимальных материальных затрат и времени, использовать уже апробированные, готовые разработки [76].

# 3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ И ВОДООХРАННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

Анализ Лесных планов субъектов Волжского бассейна показал, что в них очень редко выделяется отдельная категория водоохранных и стокорегулирующих насаждений. Косвенно можно сделать вывод об их наличии и состоянии по анализу категории "защитные леса", сведения о которых представлены в большинстве Лесных планов.

К защитным лесам относятся леса, которые подлежат освоению в целях сохранения средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций с одновременным использованием лесов при условии, если это использование совместимо с целевым назначением защитных лесов и выполняемыми ими полезными функциями.

В соответствии со ст. 102 Лесного кодекса Российской Федерации [48] определяются следующие категории защитных лесов:

- 1. Леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях;
  - 2. Леса, расположенные в водоохранных зонах;
- 3. Леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов:
- леса, расположенные в первом и втором поясах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения,
- защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей общего пользования, федеральных автомобильных дорог общего пользования, автодорог общего пользования, нахо-

дящихся в собственности субъектов Российской Федерации,

- зеленые и лесопарковые зоны, городские леса,
- леса, расположенные в первой, второй и третьей зонах округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов;
  - 4. Ценные леса:
  - государственные защитные лесные полосы,
  - противоэрозионные леса,
- леса, расположенные в пустынных, полупустынных, лесостепных, лесотундровых зонах, степях, горах,
  - леса, имеющие научное или историческое значение,
  - орехово-промысловые зоны и лесные плодовые насаждения,
  - ленточные боры,
- запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов,
  - нерестоохранные полосы лесов.

К особо защитным участкам лесов относятся:

- берегозащитные, почвозащитные участки лесов, расположенных вдоль водных объектов, склонов оврагов;
  - опушки лесов, граничащие с безлесными пространствами;
- лесосеменные плантации, постоянные лесосеменные участки и другие объекты лесного семеноводства;
  - заповедные лесные участки;
- участки лесов с наличием реликтовых и эндемичных растений;
- места обитания редких и находящихся под угрозой исчезновения диких животных.

Значительная часть российских лесов в течение XX в. так интенсивно эксплуатировалась, что теперь серьезно истощена и требует оптимизации использования, охраны и восстановления.

Детальный анализ показателей лесного фонда в динамике по отдельным областям и республикам демонстрирует общую тен-

денцию ухудшения качества лесных ресурсов. Так, например, в Нижегородской обл. площади спелых и перестойных насаждений снизились с 80 % в 1925 г. до 31 % в 1945 г. и 12 % в 1988 г. от общей площади области. Высокими темпами вырубались спелые хвойные насаждения, площади которых снизились с 18 % в 1945 г. до 5 % в 1988 г. Всего за период с 1946 по 1970 гг. переруб в Нижегородской обл. составил около 55 млн м<sup>3</sup>, или 10 годовых расчетных лесосек. Площадь хвойных пород сократилась с 61,4 % в 1925 г. до 49 % в 1985 г., при оптимальной 64 % по условиям местопроизрастания. Прошедшее после 1978 г. снижение возрастов рубок может временно дать прирост заготовок по хвойным породам, но приведет к истощению запасов спелой древесины. По теории лесоустройства [9, 64] оптимальная возрастная структура лесного фонда должна составить около 20-25 % спелых насаждений (в зависимости от возраста рубки), в то время как существующий уровень в 2 раза ниже оптимального. Аналогичное положение сложилось и в других областях и республиках Волжского бассейна [76].

Таежная (южно-таежная) зона в пределах Волжского бассейна представлена пихтово-еловыми, сосновыми и мелколиственными лесами на территории Вологодской, Костромской, Тверской, Ярославской, Кировской обл. и Пермского края. На севере этих районов местами до 90 % территории покрыто лесами. К югу и вокруг крупных населенных пунктов лесистость заметно снижается, а на юге, где уже расположена граница с зоной широколиственных лесов, она падает до 30-35 %. В направлении с севера на юг происходит заметное увеличение доли мягколиственных пород. Многочисленные вырубки заросли молодыми осиновоберезовыми и сосново-березовыми лесами. В южно-таежном районе основной тип растительности — это елово-пихтовые леса с примесью березы и осины. На гарях и вырубках также идет возобновление мягколиственных пород. При движении с востока на запад в составе лесной растительности происходит смена таежных

пихтово-еловых лесов на теплолюбивые широколиственные породы. Ближе к южной границе зоны встречаются лесные урочища с преобладанием липы и участием дуба. Леса здесь часто располагаются отдельными "островами" и разреженными массивами.

Возрастная структура лесных насаждений в таежной зоне неоднородна и напрямую связана с лесозаготовительной и лесовосстановительной хозяйственной деятельностью. Такая структура весьма разнообразна, что иллюстрирует пример Пермского края (рис. 4). В лесничествах имеет место как преобладание по площадям молодняков, так и спелых лесных насаждений, как средневозрастных насаждений, так и сравнительно равномерное распределение лесных насаждений по группам возраста.

Изменение породного состава по субъектам также неоднозначно. В целом по Волжскому бассейну площадь хвойных насаж-

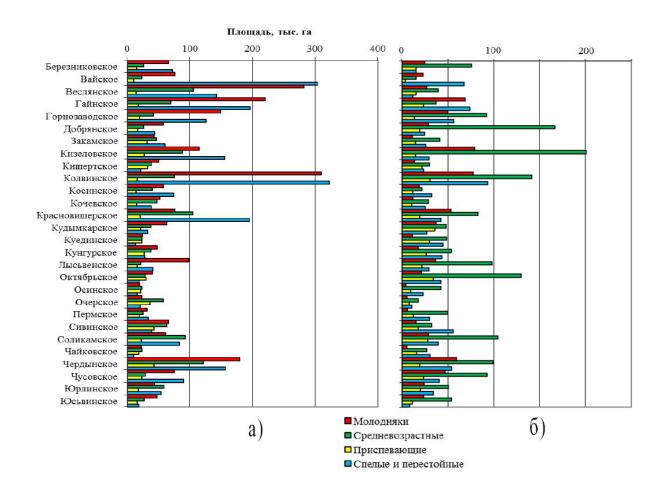


Рис. 4. Структура хвойных (а) и мягколиственных (б) лесных насаждений по группам возраста в лесничествах Пермского края [53]

дений уменьшилась за последние 10-20 лет, однако произошло это неравномерно по всем субъектам. В ряде лесничеств субъектов произошло существенное сокращение площади еловых насаждений, в других, наоборот, наблюдается сокращение площади сосновых насаждений.

Доля защитных лесов в таежной зоне Волжского бассейна колеблется от 14,8 % от общей площади лесов в Пермском крае и Костромской обл. до 36,3 % в Ярославской обл.

На границе южной тайги и *хвойно-широколиственных и смешанных широколиственных лесов* расположены Московская, Ивановская, Нижегородская, Тульская, Рязанская обл., Республики Мордовия, Чувашия, Татарстан и другие субъекты Волжского бассейна.

На севере и западе региона наиболее распространены хвойные леса, преимущественно ельники. Центральная и восточная части принадлежат району хвойно-широколиственных лесов. Здесь основные древесные породы — ель, сосна, береза, осина. Крайний юг региона находится уже в лесостепной зоне. В пределах лесостепной зоны изредка встречаются липовые и дубовые рощи. В долине Оки уже встречаются сосновые боры степного типа. Все участки степи распаханы, они почти не сохранились даже фрагментарно.

В целом по региону общая площадь земель лесного фонда на протяжении уже 20-30 лет в целом не изменяется, увеличение площади лесного фонда происходит за счет присоединения лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения.

Доля защитных лесов, например, в Московской обл. составляет 43,2 % от общей площади лесов. Однако из них насаждения, имеющие непосредственное отношение к охране водных объектов, занимают всего 12,6 % (рис. 5). Доля защитных лесов в Ивановской обл. составляет 28,5 %, в остальных субъектах она также колеблется (в среднем около 30 %), сильно варьируя по лесничествам внутри отдельных субъектов. Ярким примером может слу-



Лесопарковые зоны 606,8 тыс.га

Леса, расположенные в первой, второй и третьей зонах округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных 0,1 тыс.га

1054,4 тыс.га

местностей и курортов

Зеленые зоны

Ценные леса:

Леса, имеющие научное или историческое значение 44,0 тыс.га

Нерестоохранные полосы лесов 0,7 тыс.га

Рис. 5. Распределение площади лесов Московской обл. по целевому назначению, % [51]

жить Нижегородская обл., доля защитных лесов в различных лесничествах которой варьирует от 10 до 100 % (рис. 6) [50].

В настоящее время в регионе отмечается усыхание насаждений в пониженных местах, где в настоящее время идут болотообразовательные процессы на верховых сфагновых болотах, а также в участках с нарушенным гидрологическим режимом, вызванным подъемом уровня грунтовых вод в зонах, примыкающих к искусственным водохранилищам, нарушением естественного поверхностного стока вод при прокладке дорог и других строительных работах. Кроме того, пахотные земли, с их ежегодно повторяющейся подготовкой почвы к посадке или посеву сельскохозяйствен-

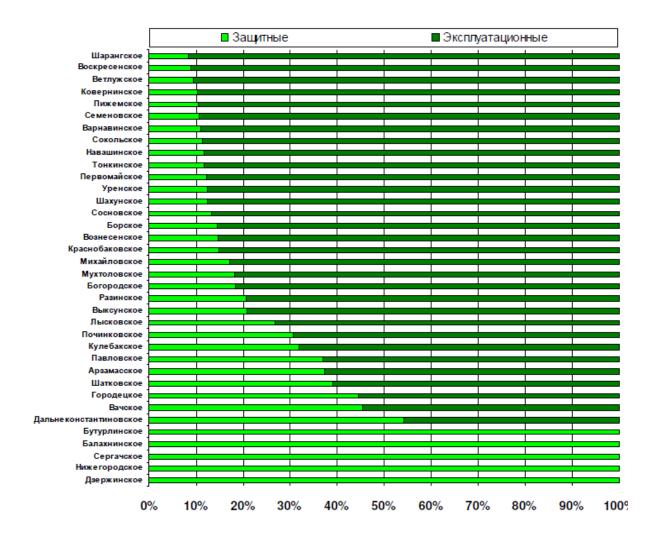


Рис. 6. Распределение лесов в лесничествах Нижегородской обл. по целевому назначению, в % [52]

ных культур, работами по уходу за ними и сбору урожая, как бы локализуют существующие лесные урочища, вставая на пути их естественного распространения. Необходимо отметить и то, что леса этой природной зоны подвержены максимальному рекреационному прессингу. По данным лесопатологических обследований лесничеств Московской обл., деревья с механическими повреждениями в зонах отдыха составляют до 45 %, избыточные нагрузки на почву приводят к изменению структуры напочвенного покрова и самой почвы. В результате воздействия происходит ослабление насаждений с последующей деградацией. Сегодняшнее состояние многих лесных насаждений рекреационного назначения следует считать неудовлетворительным.

Кроме того, основными причинами неудовлетворительного состояния насаждений является поражение их стволовыми и корневыми гнилями и энтомовредителями, в основном короедомтипографом, что является следствием ослабления жизнеустойчивости лесных насаждений, одной из основных причин которого можно назвать ухудшение экологической обстановки не столько непосредственно в лесах, сколько на прилегающих территориях.

Лесостепная, степная и полупустынная зоны. Полностью в степной и полупустынной зонах лежат территории Волгоградской и Астраханской обл., а также Республики Калмыкия. Большая часть Саратовской обл. принадлежит зоне степей, однако север области относится к лесостепной зоне. Основное отличие лесного хозяйства степных регионов от лесных заключается в отсутствии эксплуатационных лесов. В силу исключительной средообразующей и средозащитной роли в засушливых условиях практически все леса в степной и полупустынной зоне, а частично и в лесостепной, отнесены к категории защитных лесов, к І группе. Из них, например, в Саратовской обл. к ГЗЛП отнесены 19,1 тыс. га лесов области или 2,8 %. К противоэрозионным лесам относится почти 333,4 тыс. га или 49,7 % лесов области. Нерестоохранные полосы лесов выделены на общей площади 54,7 тыс. га (8,2 %) [73]. В Волгоградской обл. ГЗЛП и запретные полосы лесов, защищающие нерестилища ценных промысловых рыб занимают 23,1 % от общей площади лесов области, противоэрозионные леса -63.4 % [72].

Леса здесь представлены в основном отдельными урочищами и колками, расположенными преимущественно по поймам рек, а также по оврагам и балкам. Основная площадь лесного фонда находится в субъектах лесостепной зоны (Самарская, Ульяновская, Пензенская обл., Республика Башкортостан и др.), а из степных регионов — в Саратовской обл., а также на севере, северо-западе и западе Волгоградской обл. Лесные формации представлены в основном широколиственными древостоями с лесооб-

разующей породой дубом. Кроме того, здесь произрастают сосна обыкновенная (к югу доля насаждений сосны искусственного происхождения увеличивается), береза, осина, липа, ива и другие древесные породы. Высока доля участия кустарниковых пород (жимолость татарская, бузина красная, облепиха крушиновая, тёрн, лещина обыкновенная, боярышник колючий) [54, 73].

В степной и полупустынной зоне резко выделяется интразональная растительность Волго-Ахтубинской поймы, в которой основную водоохранную роль выполняют дубовые насаждения. Таксационные характеристики водоохранных дубрав, особенно в северной части поймы, с 1960 по 1996 гг. значительно ухудшились. Класс бонитета уменьшился на 0,6, полнота на 0,08, средний прирост в 2 раза. Бонитет дубрав Волго-Ахтубинской поймы снизился еще значительнее – на 1,4 класса. Площадь ветляников и тальников Волго-Ахтубинской поймы сократилась соответственно в 3,1 и 2,5 раза. Подавляющая часть лесов Волго-Ахтубинской поймы пройдена санитарными рубками, а дубравы – неоднократно. Прирост всех лесообразующих пород снизился после создания Волгоградского водохранилища. Если до 1958 г. текущий прирост дуба, тополя и ветлы по объему составлял соответственно 17; 12 и 31 %, то в 1958-1967 гг. – 11; 8 и 10, а 1968-1977 гг. – лишь 3-5 %. Однако климатические показатели в эти периоды заметно не ухудшились, а стали даже предпочтительнее, чем в период до начала массового усыхания. Это является свидетельством антропогенного влияния на сток рек и таксационные показатели лесов [4, 49].

В период до зарегулирования стока в половодье происходила подпитка насаждений из наименее поймостойких аборигенных пород (вяз, дуб), приуроченных к мелким дерновым почвам грив переходной поймы, что и объясняло существование низкобонитетных лесов. Корневые раскопки подтвердили приуроченность корневых систем искусственных и естественных древостоев к плодородным слоям почвогрунта. В промытом аллювиальном песке нет условий

для роста корней: отсутствуют питательные вещества, отмечается высокая плотность песка, потенциал влагопереноса песка существенно выше, чем у суглинков, что и удерживает корни в плодородном слое почвы. В последующие годы подпитка была исключена, вязовники и дубравы перешли на атмосферное увлажнение. Мелкие почвы стали нелесопригодными, и низкобонитетные леса погибли в первую очередь. Особенно подверженными массовому усыханию оказались насаждения из вяза обыкновенного, тополя черного, ивы белой на валах прирусловой поймы. Кроме того, одним из тяжелых следствий зарегулирования стока стало интенсивное засоление почв в дубравах II-III классов бонитета.

Именно в лесостепной и степной зонах европейской части России создан основной фонд *искусственных ЗЛН*. За всю историю защитного лесоразведения в России их было создано 5,2 млн га. К настоящему времени их площадь уменьшилась до 2,74 млн га. К этому привели ежегодная гибель лесокультур из-за нестабильности, неорганизованности проведения посадочных работ и уходов за посадками, которые велись, как правило, в авральном режиме с подъемами после сильных засух, пыльных бурь и спадами в более благоприятные годы, низкого их качества, а также старение насаждений. Современное состояние ЗЛН повсеместно неудовлетворительное, они находятся в запущенном состоянии, нередко загрязнены промышленными и бытовыми отходами, повреждены пожарами, самовольными рубками, болезнями и вредителями (рис. 7). В них прогрессируют процессы задернения почвы, изреживания верхнего яруса и внутренних рядов древостоя и т. п.

Примерно на половине занимаемой насаждениями площади необходимо срочное проведение лесохозяйственных мероприятий: смена поколений, реконструкция, улучшение санитарного состояния и повышение мелиоративной эффективности древостоев [88]. В связи с недостатком лесоводственных уходов за насаждениями в последние десятилетия накопился большой запас отмершей, перестойной и спелой, преимущественно низкотоварной, древесины.



Рис. 7. Современное состояние ЗЛН (2016 г., Волгоградская обл.)

Также по территории лесостепной и степной зон проходят трассы ГЗЛП, созданных в 50-е годы XX в. по водоразделу Волги: Пенза — Каменск, Камышин — Волгоград, Волгоград — Элиста — Черкесск, Саратов — Астрахань и др. (табл. 5).

Таблица 5 Распределение площади ГЗЛП на территории субъектов Волжского бассейна (по данным учета лесного фонда на 2003 г.) [4]

		Лесные земли			
Субъект	Общая пло- щадь, тыс. га	всего, тыс. га	из них покрытые лесной растительностью		
			тыс. га	%	
Саратовская обл.	19,1	17,3	17,1	98,8	
Волгоградская обл.	21,3	19,4	18,2	93,8	
Самарская обл.	2,5	2,2	2,2	100,0	
Астраханская обл.	3,4	1,8	1,3	72,2	
Республика Калмыкия	8,4	6,2	2,2	35,5	
Пензенская обл.	1,6	1,5	1,5	100,0	
Липецкая обл.	1,9	1,7	1,6	94,1	
Республика Татарстан	4,4	4,0	3,1	77,5	

На современном этапе в лесостепной зоне и части степной зоны на основе ГЗЛП сформировались устойчивые сомкнутые биогеоценозы. В сухой степи и некоторых лесорастительных условиях степной зоны насаждения ГЗЛП находятся в стадии дегра-

дации. Наиболее заметно этот процесс выражен в срединной части насаждений, значительно лучше состояние крайних рядов. Этот так называемый опушечный эффект особенно характерен для светолюбивых пород и пород с интенсивно развивающейся горизонтальной корневой системой, таких как вяз приземистый. Одной из характерных особенностей процесса деградации является смена древесных пород более устойчивыми и долговечными кустарниками. Очевидно, что удельный вес кустарников как лесообразующих пород может со временем увеличиться.

Полной натурализации ГЗЛП, если вкладывать в это понятие и способность восстановления исходной главной породы естественным путем, даже в лучших условиях (на черноземах обыкновенных) не происходит. Иначе говоря, эти насаждения не являются полностью самовоспроизводящейся биологической системой, характерной для лесной зоны и даже для ненарушенных антропогенным влиянием байрачных лесов степной зоны. Появляющийся иногда в больших количествах самосев главных пород в большинстве своем погибает, не образуя верхний ярус.

В целом, в настоящее время в пространственном распределении лесных насаждений по территории Волжского бассейна отмечаются следующие особенности:

- уменьшение доли естественной лесистости Волжского бассейна при движении с севера на юг в силу охвата территорией нескольких природных зон — от южной тайги до полупустыни;
- при делении лесов субъектов Волжского бассейна по целевому назначению отмечается тенденция к увеличению доли категории "защитные леса" при движении с севера на юг, от зоны южной тайги к степям и полупустыням;
- преобладание в общей структуре лесов степной и полупустынной зон ЗЛН искусственного происхождения в силу их исключительной средообразующей и средозащитной роли в засушливых условиях.

## 4. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ И ВОДООХРАННЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Эрозионные процессы в ландшафтах как комплекс процессов смыва и размыва почв водными потоками являются источником загрязнения водотоков продуктами смыва. Различают плоскостную эрозию на склонах, при которой происходит смыв плодородного слоя почвы временными распределенными потоками, и линейную эрозию, связанную с воздействием потоков, концентрирующихся в линейно вытянутых понижениях на склонах и в балках [10, 15, 21, 23, 24, 26, 28, 41, 55, 58, 89]. В настоящем такие процессы связаны, как правило, с распашкой земель и заменой естественной растительности сельскохозяйственными культурами. Эрозия почв осуществляется распределенными потоками, покрывающими поверхность склона сплошной пленкой, или ручейками, возникающими при поступлении воды в неровности микрорельефа склонов и во вновь образовавшиеся первичные эрозионные борозды, непостоянные во времени благодаря непрерывному изменению своего положения. Линейная эрозия развивается, если в первичной эрозионной промоине (борозде) сосредоточивается такое количество текущей воды, расход которой может удалить поступающий в поток твердый материал с расположенного выше участка, а также при врезании потока и обрушении бортов промоины. Это условие зависит от размеров водосборной площади промоины, уклона склона, гранулометрического состава почв и других факторов [10]. Часто под эрозионными процессами подразумевают эрозию почв и овражную эрозию. Они приводят к смыву почв, снижению их плодородия, расчленению земель оврагами, разрушению сельскохозяйственных угодий, инженерных объектов и коммуникаций, что обусловливает необходимость их прогнозирования и разработки мер по предотвращению или защите. Система мер по защите ландшафтов от эрозии рассмотрена в работах многих авторов [5, 12, 14, 16, 17, 25, 27, 31, 32, 34, 40, 41, 43].

Противоэрозионная лесомелиорация, используемая для уменьшения смыва и размыва почв, выноса продуктов смыва в водотоки, является одним из главных направлений защитной лесомелиорации. Лесные насаждения являются каркасом, увязывающим в единую систему все элементы противоэрозионной защиты водосборов.

А. С. Козменко разработал принципы создания ЗЛН, предложил создавать посадки на эродированных почвах — стокорегулирующие, прибалочные и придорожные полосы, снегораспределительные ленты, узкие ленты и полосы, окаймляющие участки залужения, сплошные и куртинные посадки в присетевой зоне и на берегах гидрографической сети и насаждения других видов [40].

Существенный вклад в обоснование размещения лесных полос на склонах внесли Д. Л. Арманд [10], Е. А. Гаршинёв [21]. В работах И. Г. Зыкова [31], В. М. Ивонина [32] приведены результаты исследований по комплексному освоению овражнобалочных земель и их лесомелиорации. Изучена гидрологическая и противоэрозионная роль массивных и полосных насаждений на склонах балок, их влияние на прилегающие угодья, разработана технология лесной мелиорации и улучшения травостоя, параметры систем насаждений. В их трудах получила дальнейшее развитие теория лесомелиорации водосборов.

В результате изучения эффективности лесных насаждений в уменьшении стока и смыва почвы был разработан ряд способов предотвращения эрозии в ландшафтах [1-3, 69]. Рассмотрена экономическая эффективность лесных насаждений в системе проти-

воэрозионных мероприятий.

Исследования, проведенные различными авторами, свидетельствуют о важности и необходимости противоэрозионных мероприятий в связи со сложностью геоморфологии территории и природно-климатических условий, а также требованиями дальнейшей разработки научного обоснования таких мероприятий.

Таким образом, изучение теоретических разработок в области противоэрозионной деградации, в частности территории юга Приволжской возвышенности, позволило сделать вывод о том, что район исследований является научным полигоном, где апробированы важные положения теории и практики противоэрозионной мелиорации. В настоящее время обоснованы и разработаны общие положения теории и методические рекомендации противоэрозионной организации территории. Но, в целом, решение задачи лесомелиоративного обустройства эрозионных ландшафтов территорий неразрывно связано с информационным обеспечением его на этапах планирования и проектирования, включающим данные, отражающие как современное состояние рельефа, почвы и растительности, так и прогноз такого состояния. Несмотря на важность обеспечения необходимыми данными органов управления и планирования в силу ряда организационных и экономических причин информация в целом по территории исследований не является полной и достаточной.

Защита гидрографической сети с использованием экологических барьеров, осуществляющих функции ограничения объема и скорости поверхностного стока талых и ливневых вод, является основным способом предотвращения ее загрязнения продуктами смыва — почвенными частицами, химическими веществами, отходами различного типа, вовлекаемыми в поток воды в результате эрозионных процессов [11, 55, 58, 84, 87, 89]. Применение лесных насаждений обусловлено их аккумулятивным влиянием на прилегающие территории и высокой эффективностью выполне-

ния защитных функций в совокупности с ландшафтнообразующей функцией [62, 74, 81].

Необходимость защиты русел рек от загрязнений возникла в первую очередь из-за интенсивного антропогенного и техногенного воздействия на природные ландшафты, связанного с сельскохозяйственным использованием территорий водосборов и строительством путей транспорта, что привело к нарушению сложившегося природного равновесия и развитию эрозионных процессов.

В результате, основными решениями по защите речных систем были отобраны инженерные (при помощи гидротехнических сооружений), биологические (посредством использования фитомелиоративных систем: залужение склонов и лесные насаждения из древесных и кустарниковых пород) и комбинированные, связанные с совместным применением фитомелиоративных и инженерных систем.

В результате решения задачи управления поверхностным стоком при помощи лесных насаждений были разработаны системы защиты склоновых земель от водной эрозии, включающие совокупность расположенных в определенном порядке на склоне гидрографической сети лесных полос. Такие полосы обеспечивают управление поверхностным стоком, т. е., ограничивают скорость потока и предотвращают его концентрацию. При этом они переводят часть стока из наземного в подземный сток, распределяют непоглощенную часть стока на большую площадь, задерживают продукты смыва для предотвращения загрязнения основных водотоков гидрографической сети.

В целом система защиты гидрографической сети от продуктов эрозии на землях сельскохозяйственного назначения формируется при помощи ЗЛН. Противоэрозионные лесные насаждения размещаются с учетом рельефа поверхности, размещения путей транспорта, границ пашни. Они эффективно работают в комплексе с полезащитными лесными полосами и естественными массивами леса.

Наилучший результат достигается при совместном использовании лесомелиоративных, агротехнических и гидротехнических противоэрозионных мер защиты.

Противоэрозионные насаждения могут создаваться в виде полос или сплошными массивами или куртинами.

Лесные полосы эффективны при сельскохозяйственном использовании склонов. Они при меньшей занятой площади обеспечивают наибольший защитный эффект, который обусловлен конструкцией полос, их размещением на площади водосбора.

Лесомелиоративный комплекс водосбора, направленный на предотвращение выноса почвы, должен включать следующие типы лесных полос, размещенных по зонам: на приводораздельной зоне, где уклоны менее 0.035 (крутизна  $2^{\circ}$ ), создаются полезащитные лесомелиоративные ячейки, включающие основные и дополнительные полосы [32, 34]. Основные полезащитные полосы располагаются перпендикулярно направлению преобладающих ветров для защиты от ветровой эрозии. Однако при проектировании таких полос необходимо учитывать направление линии тока по склону для предотвращения смыва почвы при формировании поверхностного стока, в связи с чем, основные полезащитные полосы надо располагать перпендикулярно линии тока, максимально приближенно к линии равных высот рельефа. В реальных условиях направление преобладающих ветров в эрозионноопасный период – величина статистически осредненная и постоянная для конкретного водосбора, а линии равных высот повторяют основной контур рельефа. Эти обстоятельства приводят к допускам отклонения основных полос от направления вредоносного ветра от 30 до 45°, а от направления линии равных высот – не более 1,0-1,5°. Противоэрозионная эффективность полезащитных полос повышается при формировании опушечных рядов из низкорослого кустарника. Вспомогательные полосы не должны размещаться вдоль линии тока уже при уклоне  $0.026 (1.5^{\circ})$ .

Верхняя граница присетевой определяется и нижней границей приводораздельной зоны. В присетевой зоне размещаются стокорегулирующие лесные полосы, предназначенные для задержания продуктов выноса и влаги, распределения поверхностного стока, предотвращения смыва и размыва почвы на нижележащих частях склонов. Их создают на склонах с уклоном более 0,035 (2°), где наблюдается интенсивный сток воды и водная эрозия почв. Располагают полосы перпендикулярно направлению линий тока, максимально приближенно к линии равных высот рельефа. Расстояние между стокорегулирующими полосами, обеспечивающее защиту водотоков от загрязнения продуктами смыва, зависит от характеристик почв и рельефа водосбора.

Прибалочные лесные полосы высаживаются на берегах балок, оврагов или лощин по границе пашни, с отступом от бровки на 3-5 м, при пологих берегах балок они размещаются ниже границы пашни по берегу балки для большей экономии площади пашни.

В единую систему защитных лесомелиоративных насаждений входят водоохранные лесонасаждения, размещаемые вдоль берегов полосами или массивами, предназначенные для укрепления и защиты берегов водотоков и водоемов. Водоохранные насаждения укрепляют береговую линию, армируя корнями почву, предотвращают эрозию и абразию, задерживая поверхностный сток, уменьшают загрязнение и заиление рек и водоемов продуктами смыва. В зимнее время они аккумулируют запасы влаги, задерживая снег. Увеличивая время снеготаяния, они способствуют уменьшению интенсивности паводков и увеличению меженного стока рек.

## 5. КРИТЕРИИ СОСТОЯНИЯ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ ВОДООХРАННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Оценка состояния стокорегулирующих и водоохранных лесных насаждений осуществляется с использованием компьютерных и геоинформационных технологий на основе анализа аэрокосмической информации. Применение такого метода исследований продиктовано актуальностью и достоверностью аэро- и космоснимков, точностью пространственной топологии объектов исследований [22, 38, 39, 44, 45, 46, 78, 80, 91].

Потенциально опасными с точки зрения развития эрозионных процессов и выноса продуктов смыва в водотоки могут считаться:

- предрасположенные к водной эрозии стоковые участки с углом склона более 1°;
- предрасположенные к эрозии, открытые, не защищенные лесными насаждениями участки пашни или пастбищ без растительного покрова;
- интенсивно используемые для сельскохозяйственного производства участки (пашня, пастбища) с антропогенной нагрузкой, превышающей продуктивность при отсутствии систем мелиорации ландшафта;
- ландшафты с неблагоприятными условиями: засушливостью климата, обедненным составом почв (слабогумусированные супеси и пески), наличием соленых грунтовых вод, приводящих к образованию солончаков и др.;
- ландшафты, подвергшиеся критическому воздействию природно-антропогенных "катастроф", таких как сели, наводнения, ураганы, ливневые (затяжные) дожди и др.

Для реализации поставленных задач по оценке состояния

стокорегулирующих и водоохранных лесных насаждений осуществляется статистическая оценка их характеристик, выявление устойчивой корреляции их состояния с расположением в пространстве [37, 38, 47, 61, 70, 77, 79, 81, 82].

Для исследования состояния стокорегулирующих и водоохранных лесных насаждений применяются камеральные, полевые и лабораторные методы.

Оценка состояния лесных насаждений традиционными методами, включающая полевые и лабораторные исследования, — процесс трудоемкий и затратный по используемым ресурсам. Кроме того, такие исследования являются локальными в своей основе, и данные, полученные при их проведении, необходимо экстраполировать на всю территорию исследований, что приводит к определенным ограничениям в использовании полученных данных.

Для выявления состояния лесных насаждений используются геоинформационные и локальные источники данных, включая растровые изображения на космоснимках с разрешением от 0,4 до 10,0 м для лесных насаждений и не менее 30 м для объектов площадью от 0,1 га (лесные массивы) [6, 7, 13, 67, 68].

Фотограмметрические исследования ЗЛН при помощи вычислительной техники предполагают использование цифрового формата изображения. Компьютерный анализ аэрокосмической фото-информации проводится по тону пикселей исследуемого цифрового изображения, что обусловлено формой информации, которую несет это изображение, а именно, как совокупности отражаемых в момент съемки электромагнитных волн. Перевод аналоговых снимков в цифровую форму осуществляется сканированием, при этом качество цифрового изображения зависит от разрешения сканирования. В результате сканирования создается цифровой аналог космоснимка, с которым и работает оператор. Для хранения сканированных изображений в цифровом формате рекомендуется использовать тип файлов ВМР, позволяющий максимально сохранить

исходную информацию.

Цифровое изображение лесных насаждений представляет собой совокупность пикселей, которые содержат весь диапазон отраженных световых волн, в оптическом диапазоне. На космоснимке могут быть как отдельные деревья, в этом случае основным дешифровочным признаком будет выступать форма кроны и ее тон, так и сомкнувшиеся насаждения в рядах или массивах, где главным дешифровочным признаком будет тон изображения. Форма кроны дерева в этом случае трудноразличима и формируется в условиях плотного соседства с другими деревьями.

Так как биологические особенности каждой породы обусловливают определенную, типичную для нее форму и морфологическую структуру кроны, то эти параметры могут послужить дешифровочными признаками для установления породы. К морфологическим признакам, создающим представление о форме кроны, относятся ее наибольшая ширина или диаметр  $(D_K)$ , длина  $(I_K)$  и высота от уровня земли до наибольшей ширины кроны  $(h_D)$ , которая делит ее на верхнюю и нижнюю части [83]. При этом чем выше располагается наибольшая ширина кроны, тем больше освещена ее поверхность и тем большая ее часть будет видна на изображении.

Все возможные формы крон в вертикальной проекции в зависимости от древесной породы условно разделены Г. Г. Самойловичем на 8 рядов (типов) [83], а каждый ряд, в зависимости от характера ветвления и формы верхних и нижних частей крон, на 3-5 видов. С целью приближения классификации к возможностям компьютерного распознавания объектов предлагается объединить близкие виды крон и остановиться на 9 главных типах, добавив плакучую форму как самостоятельную, отличную от узорчатой (рис. 8). Например, формы крон у ели конусовидные, у сосны овальные или шарообразные, у березы овальные, у осины куполообразные или шаровидные.

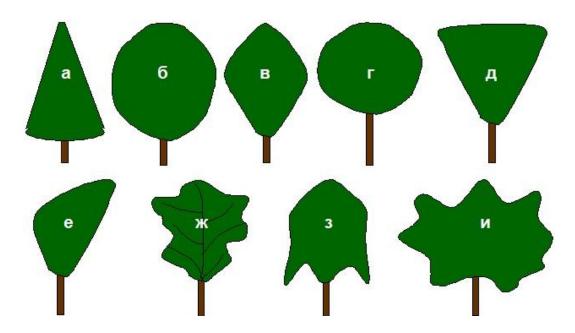


Рис. 8. Основные формы вертикальной проекции крон деревьев (а — конусовидная: б — овальная; в — ромбовидная; г — шаровидная; д — плосковершинная; е — неправильная (однобокая); ж — узорчатая; з — плакучая; и — сложная)

Формы и размеры крон по центру космоснимка отображаются в горизонтальной проекции, а по краям в виду центрального проецирования при съемке с больших высот проекция будет отображаться в наклонной плоскости, поэтому для дешифрирования породного состава древостоя необходимо учитывать как горизонтальную проекцию (рис. 9), так и вертикальную.

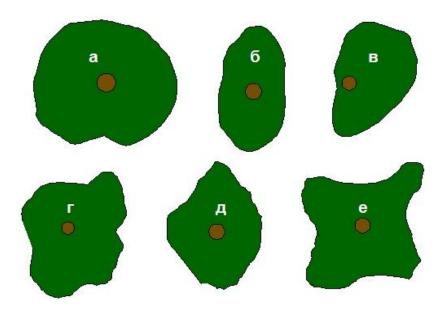


Рис. 9. Основные формы горизонтальной проекции крон (а – округлая, б – эллипсовидная, в – односторонне сжатая; г – неправильная, д – ромбовидная, е – узорчатая)

Классификация позволяет при полевом эталонировании полога древостоев ставить в соответствие формам крон вполне определенную породу, а так же устанавливать зависимость между размерами крон и такими характеристиками дерева как его высота и средний диаметр.

При дешифрировании космоснимков лесонасаждений необходимо учитывать характер отображения крон на изображении. Крона в сомкнувшемся пологе часто изображается не полностью, поэтому при установлении корреляционной связи между диаметром кроны и другими таксационными показателями при полевом эталонировании следует измерять также и диаметр видимой на космоснимке части кроны, и высоту расположения этого диаметра.

Для определения формы и размеров горизонтальной проекции крон (основные типы таких проекций приведены на рис. 9) используются оцифрованные космоснимки сверхвысокого разрешения (менее 3 м) или крупномасштабные аэрофотоснимки.

Исследование таких снимков проводится при помощи специализированных фотограмметрических компьютерных программ (Талка, Image Station или др.). Космоснимки высокого разрешения (рис. 10) позволяют выделить морфологическую структуру, определить форму горизонтальной проекции кроны, ее раз-

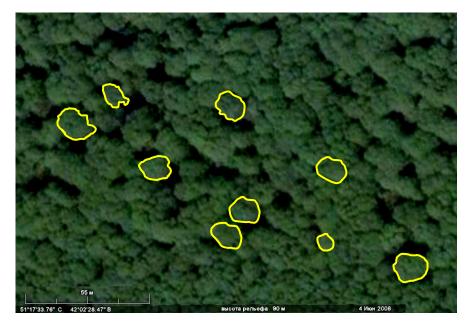


Рис. 10. Космоснимок массивов естественного леса в Волго-Ахту-бинской пойме

меры и густоту. Наиболее точно можно измерить кроны компактные, густые и имеющие правильную геометрическую форму. Затруднительны измерения у деревьев с нечетко выраженными очертаниями кроны или с редкой кроной и направленными в разные стороны ветвями.

Искажения на краях АКФ вызваны отклонением линии визирования от вертикали (рис. 11), поэтому крона на снимках проецируется под некоторым углом, что необходимо учитывать при дешифрировании.



Рис. 11. Фрагмент космоснимка однорядных придорожных лесных полос (тополь пирамидальный) с явно выраженной наклонной проекцией крон

Для изучения динамики основных таксационных и дешифровочных показателей и их взаимосвязей на космическом фотоснимке выделяют эталонные участки. Участки подбирают в ЗЛН одинакового породного состава и конструкции.

Используя инструменты масштабирования, выбирается такой масштаб, чтобы можно было уверенно их опознать и привязать насаждения к ясно заметным ориентирам (полевые дороги, просеки, линии электропередач и др.).

Применение специализированных программ обработки графических файлов позволяет проанализировать изменение фототона изображения вплоть до отдельно взятого пикселя. Анализ распределения пикселей по изображению позволяет получить разностороннюю информацию о состоянии насаждений на момент съемки.

Масштаб и разрешение исходного космоснимка, выбираемого для анализа, зависит от размера объекта наблюдения и необходимой детализации. Для оценки массивов лесонасаждений обычно выбираются снимки масштаба 1:20000 с разрешением 10-15 м или снимки масштаба 1:5000 с разрешением 1-3 м. Такие изображения имеют высокую детализацию и позволяют идентифицировать при дешифрировании изображения отдельно стоящих деревьев.

При предварительном визуальном анализе изображения (рис. 12) выделяется и обозначается контуром территория, занимаемая насаждением (4), пологи рядов в кулисах (5) и полог калибровочной кулисы (6).



Рис. 12. Космоснимок лесонасаждения

Дешифровочными признаками ЗЛН являются регулярные ряды деревьев в массивах или кулисах (1). Они имеют более тем-

ный (темно-зеленый) фототон, в отличие от большинства окружающих их объектов. Обычно вдоль насаждений проходят полевые дороги (2), выделяющиеся на снимках светлым, почти белым фототоном. Кормовые угодья (3) на снимке представлены прямо-угольниками серого или серо-зеленого тона.

Прямоугольное выделение полога отдельной кулисы (рис. 13), или рядов с сомкнувшейся кроной по максимальной ширине кроны  $c_{\max}$  позволяет определить количество пикселей  $n_{\min}$  и средний фототон  $F_{\min}$  для полога ряда (рядов) деревьев.



Рис. 13. Прямоугольное выделение полога отдельной кулисы

Фотоэталон уровня деградации "Норма"  $F_3$ , используемый для оценки деградации лесонасаждения, устанавливается по специально выбираемому участку полога древостоя с наибольшей равномерностью значений тона, причем в качестве эталона выбирается значение фототона (рис. 14).

При этом за эталонное значение принимается диапазон от минимального до максимального значения фототона на этом участке. Эти значения диапазона фототона принимаются как соответствующие недеградированному состоянию полога, т. е. как эталон.



Рис. 14. Калибровочный участок полога древостоя с наибольшей равномерностью значений тона

Сохранность можно приять как обобщающий критерий уровня деградации лесного насаждения. Анализ космоснимков высокого разрешения дает возможность определить сохранность по относительной плотности полога древостоя  $\chi_{\Pi H}$ , выраженную отношением площади полога  $S_{nH}$  к площади всего насаждения  $S_{H}$ :

$$\chi_{\Pi H} = S_{nH}/S_{H}. \tag{1}$$

Пиксельный анализ изображения позволяет выразить площади через произведение площади единичного пикселя  $S_i$  на количество пикселей, приходящихся на выбранную площадь:

$$\chi_{\Pi H} = S_{nH}/S_{H} = n_{nH}S_{i}/n_{H}S_{i} = n_{nH}/n_{H}, \qquad (2)$$

где  $n_{n_H}$  — количество пикселей, приходящихся на площадь исследуемого полога;  $n_H$  — количество пикселей, приходящихся на площадь всего насаждения.

Величина этого критерия устанавливает сохранность лесного насаждения как относительную площадь горизонтальной проекции полога древостоя и позволяет учитывать потери этой площади относительно общей площади лесонасаждения.

Численное значение критерия зависит от многих факторов (возраст, схема посадки, порода деревьев и др.) и определяется индивидуально для каждого лесного насаждения.

Количество пикселей, приходящихся на площадь полога  $n_{nh}$ , может быть определено из анализа полного изображения насаж-

дения путем суммирования всех пикселей, совпадающих по фототону, с диапазоном шкалы серого тона, отнесенным к пологу (табл. 6), или путем выделения контура каждого полога рядов в кулисах, входящих в насаждение, и суммированием всех пикселей выделенных объектов. Необходимо отметить, что второй путь более трудоемкий, но более точный.

Таблица 6 Диапазон фототона для дешифрирования изображения лесонасаждения

Диапазон фототона	Количество пикселей, %	Объект дешифрирования	
0-77	0	Тени от древостоя	
78-105	6,0	Кроны деревьев, полог	
106-140	41,2	Полог деградированный	
141-150	4,1	Травостой	
150-210	38,9	Дороги, выход породы	
210-255	9,8	Деградированные земли	

Пиксельный анализ изображения отдельного ряда при отсутствии влияния открытого пространства междурядий позволяет определить его состояние не только по площади полога, но и по изменению фототона. При этом критерием деградации выделенного контуром ряда древостоя можно считать отношение количества пикселей, входящих в заданный диапазон фототона, соответствующий уровню деградации "Норма"  $n_{N}$ , к общему количеству пикселей прямоугольного выделения эталонного полога насаждения, заведомо находящегося в состоянии "Норма"  $n_{\Pi}$ :

$$\chi_N = n_{N\Im}/n_{\Pi H\Im}. \tag{3}$$

Все остальные участки рассматриваются относительно критерия  $\chi_N$ , найденного для выбранного насаждения, а критерий деградации насаждения (сохранность) рассчитывается по формуле:

$$\chi = \chi_{\Pi H}/\chi_{N}. \tag{4}$$

Если площадь полога древостоя в выделенном контуром ряде будет соответствовать площади с уровнем деградации "Норма", то критерий  $\chi=1$ , в общем случае различным уровням деградации полога будут соответствовать значения  $\chi$ , приведенные в табл. 7.

Таблица 7 Значение критериев х для уровней деградации лесонасаждений

Уровень	V		
деградации	χ		
"Норма"	0,81-1,00		
"Риск"	0,71-0,80		
"Кризис"	0,51-0,70		
"Бедствие"	0,5 и менее		

По выбранному (см. рис. 14) участку полога древостоя с наилучшими характеристиками по равномерности можно определить эталонный диапазон фототона, соответствующий уровню состояния "Норма", здесь  $dF_N = 105 - 140$  по шкале серого цвета и средним значением  $F_{Ncp} = 119,1$ .

Определение соотношения количества пикселей для эталонной кулисы, при-

ходящихся на диапазон  $dF_N$  "Норма", и количества пикселей, приходящихся на общую площадь полога, дает возможность установить величину критерия для нахождения уровня состояния "Норма", который при количестве пикселей, соответствующих этому диапазону  $n_{N\ni}=1526$  и общей площади полога в пикселях  $n_{\Pi H\ni}=1924$ , находят из выражения  $\chi_{N\ni}=n_{N\ni}/n_{nH\ni}$ , в нашем примере  $\chi_{N\ni}=0,79$ .

Определяя количество пикселей, приходящихся на диапазон  $dF_N$  для остальных кулис насаждения, устанавливают деградацию древостоя по отдельным кулисам (результаты приведены в табл. 8). Таблица 8

Установление уровня деградации по критерию относительной площади

Номер кулисы	$n_{ m N}$	$n_{\scriptscriptstyle \Pi H}$	Хпн	ξиχ	χ	Уровень деградации
1 – эталон	1546	1924	0,80	0,80	1	Норма
2	1476	1924	0,77	0,80	0,96	Норма
3	513	876	0,59	0,80	0,72	Риск
4	551	876	0,63	0,80	0,78	Риск
5	549	1092	0,50	0,80	0,63	Кризис
6	244	1092	0,22	0,80	0,28	Бедствие
7	1306	3525	0,37	0,80	0,46	Бедствие
8	892	3525	0,25	0,80	0,32	Бедствие
n	•••	•••	•••	•••	•••	•••

По результатам исследований разработана система компьютерного моделирования деградации лесных насаждений на основа-

нии их периодического мониторинга аэрокосмическими методами с использованием принципа пространственно-временного подобия, позволяющая не только оценить текущее состояние насаждений и уровень их деградации, но и прогнозировать его изменение по динамике происходящих процессов за весь период наблюдений.

Использование вычислительных комплексов на основе высокопроизводительных компьютеров и специализированных программ обработки АКФ позволяет создавать тематические электронные карты на регионы с оценкой деградации ЗЛН, оперативно вносить произошедшие на объектах изменения, причем периодичность обновления зависит от скорости наблюдаемого процесса.

Таким образом, критерий относительной площади устанавливает соотношение площади горизонтальной проекции полога древостоя, находящегося в состоянии "Норма", ко всей проектной площади исследуемого насаждения полога. Это позволяет учитывать потери площади полога, выявить и оценить его состояние.

Для лесонасаждения в целом целесообразно рассчитывать критерий  $\chi$  по отношению суммарного количества пикселей, соответствующих уровню деградации "Норма", к суммарному количеству пикселей, соответствующих суммарной площади прямоугольных выделений пологов кулис насаждения:

$$X = \sum n_N / \sum n_{nH}.$$
 (5)

Предлагаемые критерии позволяют дистанционно проводить оценку сохранности и деградации насаждений, осуществлять мониторинг с необходимой периодичностью и своевременно принимать меры по поддержанию насаждений в удовлетворительном состоянии.

Реализация предложенного способа оценки деградации лесных насаждений основана на дешифрировании изображений на основе систематического эталонирования и пиксельного анализа.

Методология компьютерного прогнозно-динамического картографирования состояния ЗЛН прошла апробацию на экстра-

поляционных участках защитных лесных насаждений.

Для проведения исследований эродированных ландшафтов на территории исследований выбираются тестовые полигоны. На примере Приволжской возвышенности отобраны полигоны: "Вторая Ураковка" площадью 3,8 тыс. га, "Русская Ураковка" — 10,2 тыс. га, "Нижняя Липовка" — 2,4 тыс. га, "Камышинский" — 7,2 тыс. га, "Каменный" — 18,9 тыс. га, "Чапуринский" — 4,8 тыс. га, представляющие собой овражно-балочные водосборы (урочища), на которых выбирались тестовые участки — фации или группы фаций, охватывающие основные типологические группы. Объекты, выбранные в качестве тестовых полигонов, являются эталонами ландшафтов для Приволжской возвышенности, поэтому результаты, полученные при исследовании космоснимков высокого разрешения, могут быть экстраполированы и на ландшафты-аналоги.

Использование космоснимков для создания на их основе космокарт ландшафтов, в т. ч. и при выявлении очагов деградации почв, размещения и состояния ЗЛН, является обоснованным методическим приемом, позволяющим выявить не только такие очаги, но и другие особенности ландшафта, которые отображены на космоснимках.

Выявление эрозионных процессов, идущих в водосборах Волжского бассейна, является необходимым для выявления места проявления процесса и планирования лесомелиоративных мероприятий для предотвращения попадания продуктов смыва в водотоки. На космоснимках овражно-балочных систем водосборов Волжского бассейна дешифровочными признаками эрозионных процессов являются:

- изменение тона на изображении ландшафта, которое обусловлено различной отражательной способностью как почв, так и растительности, произрастающей на этих почвах (рис. 15);
- характерный рисунок изображения линейной эрозии, которая ярко выражена на снимках локальными рисунками на не-

больших участках поверхности с четко выделенным расчленением земной поверхности и образованием различных эрозионных форм, таких как промоины, овраги, балки, долины (рис. 16, 17);



Рис. 15. Космоснимок эрозионного ландшафта на тестовом участке "Вторая Ураковка"



Рис. 16. Космоснимок промоины на тестовом участке "Вторая Ураковка"



Рис. 17. Космоснимок оврага на тестовом участке "Русская Ураковка"

- характерный рисунок плоскостного смыва, отображаемый на снимках вытянутыми вниз по склону пятнами более светлого тона (рис. 18).



Рис. 18. Космоснимок плоскостного смыва на тестовом участке "Вторая Ураковка"

При интенсивном смыве аллювиальный материал отлагается обычно в виде конусов выноса и формирует пролювиальные отложения (рис. 19).



Рис. 19. Космоснимок конуса выноса на тестовом участке "Вторая Ураковка"

Информация о деградации содержится в оцифрованном растровом изображении в виде совокупности пикселей различного тона. Исследования распределения пикселей по значению фототона позволяют установить их корреляцию с количественными характеристиками объекта мониторинга.

Визуальный анализ позволяет на основании дешифровочных признаков выявить основные очаги деградации, природные и искусственные образования, гидрографическую сеть (отдельные водоемы), дороги и др.

Наиболее важным при визуальном анализе является определение границ очагов деградации и выделяющихся объектов, расположение которых на снимке носит временный (разливы рек, облачность) или постоянный, но кардинально отличающийся от окружающей обстановки характер (выходы коренных пород, корковые солончаки и др.).

При визуальном анализе проводится выделение всех дешифрируемых объектов контурами и их классификация.

Компьютерный анализ выделенных контуров, отнесенных к

определенным дешифрируемым (визуальным) группам, основан на исследовании распределения пикселей уже в этом выделенном контуре на космокарте объекта исследований.

Исходя из того, что выделенный контур достаточно точно определяет границы однородного объекта, можно все пиксели этого контура отнести к характеристике этого объекта. Однако при последующем анализе часть пикселей не будет учтена, так как они могут принадлежать к группам пикселей, соответствующим по значению фототона граничным объектам. Граничными являются объекты, которые лежат внутри контура, а значения фототона пикселей лежат внутри диапазона фототона, определяющего объект исследований.

Важнейшим элементом анализа состояния исследуемого объекта является отнесение фототона изображения к фактическому состоянию объекта. Для реализации этой операции применяется эталонирование, позволяющее увязать значения фототона с фактическим состоянием объекта исследований.

В результате эталонирования определяется наиболее вероятное значение величины (диапазона величин) фототона, которое можно достоверно связать с уровнем деградации объектов.

В связи с особенностями отражения видимого спектра электромагнитного излучения элементы ландшафта обладают уникальными, только им присущими спектрами. Однако при сканировании поверхности Земли оптическими цифровыми устройствами возможности получения спектральных характеристик таких элементов ограничены как выбранными спектральными диапазонами, так и возможностями формата цветного цифрового растрового изображения.

Несмотря на все эти ограничения, статистический анализ таких спектров дает возможность выделить элементы ландшафта и определить их характеристики. На рис. 20 приведена общая гистограмма распределения пикселей на космоснимке эрозионного ландшафта.

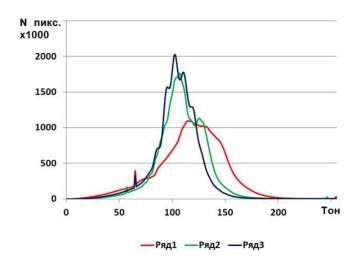


Рис. 20. Гистограмма распределения пикселей на космоснимке эрозионного ландшафта

Распределение пикселей на космоснимке (см. рис. 8) характеризуется преобладанием количества пикселей в диапазонах цвета В и G. На уровне тона B=105 ( $\sigma=21,1$ ), а G=118 ( $\sigma=22,4$ ) диапазон R=118 ( $\sigma=31,8$ ) более широкий и смещен к правой стороне гистограммы. Распределение имеет асимметрию 1,8,

что свидетельствует об отсутствии нормальности.

При анализе эрозионных объектов анализ гистограмм позволяет выделить и идентифицировать их на общем снимке. Гистограмма выбранного спектрального канала показывает отраженную электромагнитную энергию и ее распределение по площади снимка. Величина этой энергии в цифровом виде соответствует числу пикселей соответствующего диапазона.

При изменении свойств анализируемых составляющих ландшафта соответственно изменяется интенсивность изображения, когда кривая спектрального отражения практически не изменяется по форме, но все величины спектрального коэффициента отражения пропорционально возрастают при всех длинах волн. Такие изменения свойственны почвам с монотонным гумусированным профилем, например, темно-каштановым. В почвах с резко дифференцированным генетическим профилем, или если эрозией захвачены горизонты А, В и даже С, изменениям величин тона изображения соответствуют изменения в составе видимого поверхностного слоя. При дешифрировании эрозионных ландшафтов следует учитывать не только величину тона, но и рисунок, для уточнения сопоставляя такое изображение с гистограммами этих объектов. Смытость почв хорошо дешифрируется по снимкам ландшафтов при воздушно-сухом состоянии поверхностного слоя как при малых, так и при сильных уровнях смыва. При этом на снимках пахотного слоя отмечаются отличия в тоне изображения, которые при сопоставлении с эталонами дают возможность идентификации уровня смытости.

По направлению плоскостного смыва наблюдается изменение тона изображения, которое в верхней части исследуемого контура имеет более темный фон, примерно в середине он становится более светлым и в нижней части снова становится темным, что соответствует увеличению смытости в средней части склона и накоплению намытых гумусированных слоев в нижней.

В связи с этим дешифрирование эрозионных ландшафтов с использованием гистограмм дает возможность выявить эрозию в различных формах и определить по смещению пиков ее уровень, устанавливаемый по средним значениям тона для каждого диапазона.

В настоящее время накоплено достаточно большое количество космоснимков поверхности Земли. Это дает возможность перейти от эпизодической оценки площадных объектов к получению точечной, географически привязанной информации.

Методика [80] предполагает компьютерное картографирование эрозионно-геоморфологических катен как устойчивой последовательности фаций от водораздела к тальвегу, имеющих определенный уровень эрозионной деградации, а также выявление основных факторов, влияющих на пространственное распределение контуров эрозионной деградации на основе ГИС-технологий и пространственно-временного анализа космоснимков.

В основе принятой методологии лежит компьютерный анализ изображений с выявлением параметрических характеристик эрозии. Анализ проводится по распределению пикселей с учетом того, что совокупность внешних признаков достаточно полно отражает реальное состояние эродированного участка, а каждый

пиксель несет определенную информацию о свойствах и положении ландшафтных объектов. В процессе анализа распределения пикселей и последующего моделирования состояния ландшафтного объекта необходимо учитывать соответствие изменения свойств объекта изменению фототона его изображения. По результатам анализа и дешифрирования космоснимка создаются тематические цифровые космокарты эрозионного состояния ландшафтов [8, 22, 38]. Создание такой карты — более точное и эффективное средство отображения тематической ситуации на поверхности по сравнению с созданием классической карты. При этом определяются объекты тематического исследования, и интерпретируется представленное изображение на основании результатов предварительного полевого эталонирования на тестовых, калибровочных и проверочных участках.

Точность и детализация космокарт определяются качеством и разрешением космоснимка. Поэтому при создании цифровых космокарт необходимо применять космоснимки, отвечающие следующим требованиям: искажения по краям должны быть минимальными или устранены методами фотограмметрической трансформации; проекция снимка должна быть близкой к ортогональной; покрытие облачностью должно быть минимальным (не более 5%); основные объекты мониторинга должны быть отражены на снимке полностью; космоснимки должны быть трансформированы в используемую картографическую проекцию; разрешение должно обеспечивать дешифрирование основных объектов мониторинга, спектральный диапазон должен наиболее полно отображать объект исследований и др.

Регулярный периодический космический мониторинг с целью создания тематических космокарт проводится на основе серии разновременных космоснимков и последующего пространственно-временного анализа произошедших изменений на основе разрабатываемых математико-картографических моделей.

Для определения вида деградации, его степени (уровня) опасности, уточнения координат очагов, количественной оценки состояния ландшафтов и его составляющих необходимы подробные карты крупного масштаба — 1:10000, 1:25000. Масштаб цифровой космокарты определяется разрешением исходного космоснимка, при этом масштаб, необходимый для анализа ландшафта, зависит от поставленной задачи.

На основе компьютерного математико-картографического моделирования составляются прогнозные карты эрозионной деградации ландшафтов на полигоне исследований в цифровом и бумажном исполнении. Такие карты должны содержать следующую информацию: географическое положение объектов; уклоны поверхности и их экспозиция; состав почв, содержание гумуса и степень эродированности; основные виды растительности; экологическое состояние объекта (виды, уровни и прогноз деградации), его размеры и форма [36, 47, 59, 60, 65].

По результатам анализа имеющихся материалов, характеризующих особенности ландшафта юга Приволжской возвышенности, можно сделать вывод о том, что территория исследований представляет собой сложно сформированный ландшафт с ярко выраженным расчлененным рельефом, обусловленным многообразием и высокой насыщенностью эрозионных форм. Средняя расчлененность овражно-балочной сетью составляет 0,4-1,0, в отдельных местах достигая 3,0-3,5 км/км<sup>2</sup> и более. Глубина вреза эрозионной сети колеблется от 40 до 120 м. Особенности рельефа южной части Приволжской возвышенности с наличием относительно легко размывающихся слоев не обеспечивают стойкости литологического основания, создавая предпосылки для проявления эрозии. Все это в совокупности с базисом эрозии, достигающим 300 м, определяет высокую эрозионную опасность территории. Эталонирование уровней эрозионной деградации проводится для выявления диапазонов тона изображения земель с различным уровнем смытости.

Полевые исследования основываются на методике Б.В. Виноградова с фотоэталонированием смытых в различной степени почв, а так же линейных форм эрозии [37]. На водораздельных поверхностях исследуемых полигонов выделяются контуры маломощных и среднемощных каштановых почв. Они представлены пятнистым рисунком. По данным дешифрирования, несмытые и слабосмытые почвы приурочены к верхним участкам приводораздельного склона, а намытые к нижним. Почва достаточно неоднородна по тону, что обусловлено процессами смыва и выноса плодородного слоя. В этом случае количественная оценка распределения тона позволит выявить степень и величину эрозионной деградации и определить величину смыва в водотоки.

Тон фотоизображения (для режима "градации серого") несмытых почв темно-серый, рисунок также пятнистый (правильные светлые пятна равномерно распределены по всему контуру). Крутизна склонов 0,5-3,0°. Тон фотоизображения среднесмытых почв серый, белесые пятна становятся больше по своему размеру, приобретают вытянутую форму, хаотично разбросаны по всему контуру. Среднесмытые почвы приурочены к присетевым склонам крутизной 3-5°. Тон фотоизображения сильносмытых почв светло-серый, количество светлых пятен увеличивается, они также направлены вниз по склону. Сильносмытые почвы приурочены к присетевым склонам крутизной более 5°. При эталонировании установлено, что наиболее надежным признаком для дистанционной оценки степени смытости, является тон и рисунок фотоизображения. Отражательная способность смытых почв возрастает в ряду: слабосмытая – среднесмытая – сильносмытая. Профилирование рельефа, сопряженное с моделью ландшафта на тестовом участке "Русская Ураковка", подтвердило это положение. Тестовый участок отличается высокой расчлененностью овражно-балочной сети более 1,5 км/км<sup>2</sup>. Наблюдения, проведенные по профилю с замером крутизны склонов в различных точках и с описанием почвенных прикопок и обнажений в этих точках, подтвердили ранее полученные выводы о приуроченности почв разной степени смытости к ландшафтным полосам, которые зависят от крутизны склонов. Однако наблюдаются и отклонения от этой закономерности. Так, пятна сильносмытых почв встречались в приводораздельной полосе на склонах с крутизной 2,5-3,0°, что определялось резким изменением формы склона и мощности пород. Такое явление наблюдалось на перегибах склонов и на склонах с маломощным покровом четвертичных отложений, подстилаемых мелами, мергелями, известняками.

Полевые исследования в катенах, склоны которых подвержены эрозии, были проведены для определения взаимосвязи характеристик, определяемых лабораторно, и отображений почв на космоснимке. Для этого на полигоне "Каменный" (рис. 21) были проведены полевые исследования, скоординированные с ГИСанализом рельефа (рис. 22).

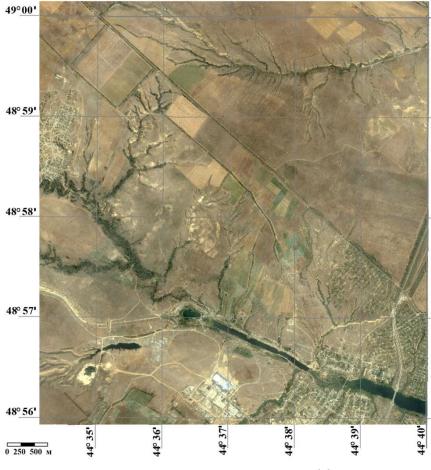


Рис. 21. Космокарта полигона "Каменный"

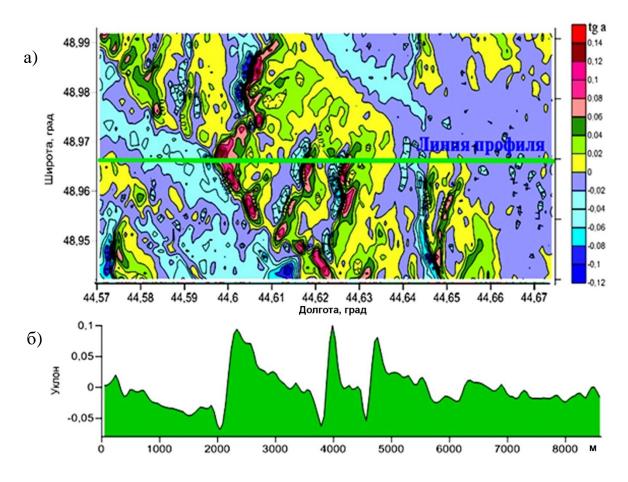


Рис. 22. Модели уклонов склонов (a) и диаграмма (б) распределения уклонов (профиль)

Анализ космокарты показал, что участки с сильной смытостью почв не приурочены к резким перегибам склонов, бровкам крутых склонов балок, конусам выноса оврагов на плоских участках. Они расположены сравнительно узкими полосами вдоль оврагов, балок, потяжин на более крупных перегибах склонов и изображаются светлыми полосами правильной конфигурации.

Разграничительное дешифрирование слабосмытых и несмытых почв проводится по характерному рисунку потяжин на космоснимках ландшафтов со слабосмытыми почвами. Потяжины имеют на космоснимке очень четкое изображение в виде прямых или ветвящихся узких чередующихся светлых (смытых) и темных полос на склоне (рис. 23). Темный тон их изображения связан с большей мощностью гумусового горизонта и значительной увлажненностью.



Рис. 23. Космоснимок участка склона, полигон "Русская Ураковка"

Создание геоинформационного комплекса, включающего набор тематических цифровых карт ландшафта, позволяет исследовать его эрозионное состояние, выделить и определить характеристики основных водосборов, разделить катены и выявить различия в видах, интенсивности и особенностях эрозионных процессов.

Уровень эрозионной деградации ландшафтов водосборов достоверно определяется по следующим прямым дешифровочным признакам: площадь обнаженной почвообразующей породы (горизонт С) или подстилающей породы (горизонт D); расчлененность территории оврагами; увеличение площади средне- и сильноэродированных почв; площадь выпадов лесных насаждений.

Оценка эрозионной деградации по данным космоснимков дает возможность выявлять изменения, происходящие в ландшафтах. Например, для проведения исследований был выбран полигон "Каменный". Для этого полигона создана цифровая космокарта (рис. 24), цифровая изолинейная модель рельефа (рис. 25), цифровая трехмерная модель рельефа (рис. 26), цифровая модель уклонов с выделением морфоизографы (рис. 27), цифровая трехмерная модель ландшафта (рис. 28).



Рис. 24. Космокарта полигона "Каменный"

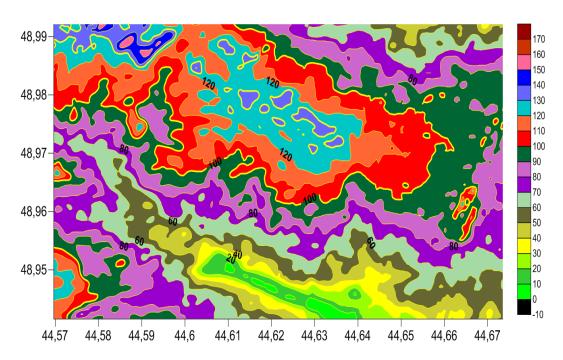


Рис. 25. Изолинейная цифровая модель рельефа с окрашенными контурами, полигон "Каменный"

Созданные карты предоставляют информацию о геоморфологических особенностях рассматриваемого ландшафта и о параметрах рельефа, которые необходимы для оптимизации защиты его от эрозии и выноса ее продуктов в водотоки.

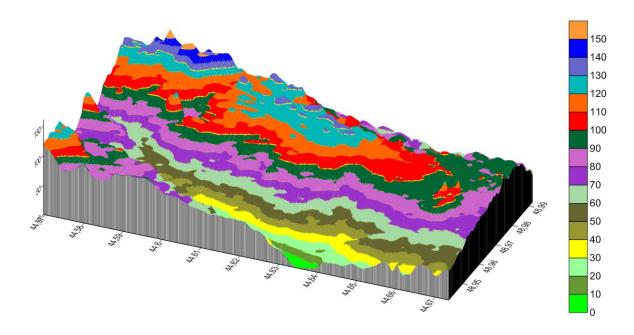


Рис. 26. Визуализация цифровой модели рельефа, полигон "Каменный"

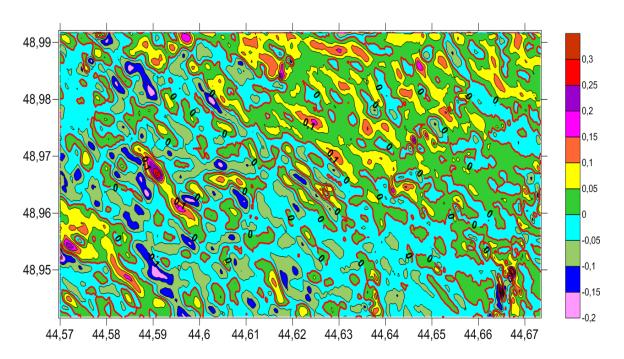


Рис. 27. Изолинейная цифровая модель уклонов с выделением морфоизографы, полигон "Каменный"

Совместное исследование космокарты полигона и карт рельефа показало, что часть пашни, расположенных на склоне (рис. 28, поля 1-4), не защищена от эрозии. Примерно в середине склона имеется стокорегулирующая лесная полоса, которая к настоящему времени сохранилась отдельными фрагментами и не выполняет свои функции.

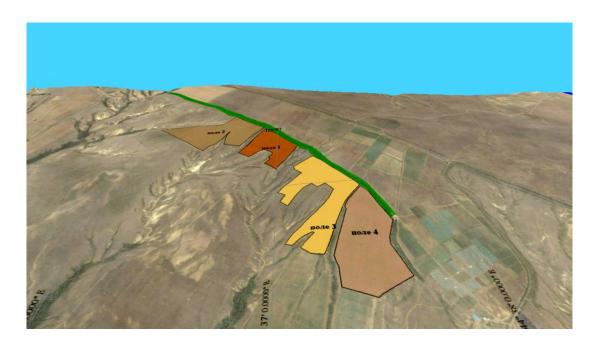


Рис. 28. Визуализация цифровой трехмерной модели эрозионного ландшафта, полигон "Каменный"

В результате исследований тестовых полигонов бассейна Волги на юге Приволжской возвышенности с использованием геоинформационных технологий и ГИС-программ "QGIS", "Global-Mapper", "Surfer" было осуществлено геоинформационное картографирование ландшафтов с созданием локальных тематических космокарт сохранности лесных насаждений — ГИС-слоев на основе космоснимков среднего и крупного масштаба (разрешение снимков 10-1 м).

Карты крупного масштаба и планы были созданы на тестовые участки с детальным анализом сохранности лесных насаждений (рис. 29). Использование таких карт обеспечивает необходимой информацией проектные работы, связанные с восстановлением, реконструкцией и созданием новых ЗЛН.

Тестовый участок "ЛП" на полигоне "Каменный" исследован для выявления сохранности лесной полосы, выполняющей стокорегулирующие функции. Стокорегулирующая лесная полоса расположена выше по склону, чем тестовый участок "поле 1", вследствие чего, для этого участка она является барьером, обеспечивающим регулирование стока с вышележащей водосборной площади.



Рис. 29. Разновременные космоснимки тестового участка "ЛП"

Блокированные ранее, при сохранности полосы — на уровне "норма", процессы смыва и размыва пашни при снижении сохранности получат новую интенсивную динамику, что подтверждается исследованиями смыва почвы с тестового участка "поле 1" (рис. 30). Распад ЛП привел к увеличению площадей сильно смытой почвы именно в местах, непосредственно граничащих с распавшимися участками.

При анализе разновременных космоснимков выявлено, что сохранность шестирядных противоэрозионных лесных насаждений из вяза приземистого на тестовом полигоне составила к 2012 г. всего 31,1 %. В результате анализа космоснимков получены данные по изменению сохранности ЛП за 10-летний период (рис. 31).

Регрессионный анализ изменений сохранности насаждений на полигоне обеспечил разработку прогнозно-математической модели экспоненциального типа в виде ( $R^2 = 0.995$ ):

$$y = 67,45e^{-0.078x}, (6)$$

где y — сохранность насаждений, %; x — период, год.



Рис. 30. Выделение зон смыва при деградации стокорегулирующего насаждения

Полученное уравнение дало возможность спрогнозировать динамику сохранности и деградации противоэрозионных насаждений. Например, к 2020 г. сохранность исследуемых насаждений при отсутствии необходимых мероприятий по их восстановлению

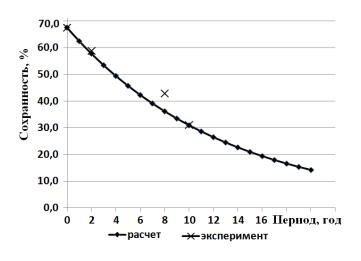


Рис. 31. Изменение сохранности лесной полосы на тестовом участке "ЛП"

составит 15-17 %, что практически оставит пашню без защиты.

Изучение сохранности лесных насаждений в ландшафтах показало, что основная часть лиственных насаждений на водоразделах достигла предельного возраста и без должных лесохозяйственных работ расстраивается, и в итоге выпадает.

Современное состояние комплексов защитных лесных насаждений на полигоне "Вторая Ураковка" (рис. 32) позволило оценить как общее состояние ЗЛН в системе, так и индивидуальную сохранность каждого насаждения.

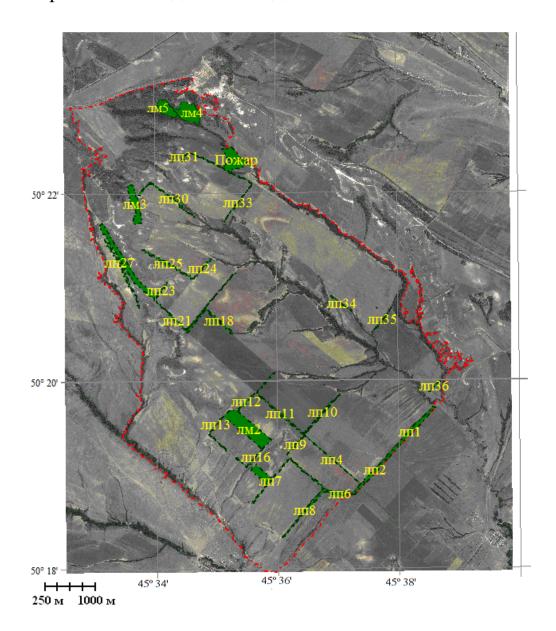


Рис. 32. Космокарта комплекса лесных насаждений, полигон "Вторая Ураковка"

Этот полигон площадью 4023 га характерен для южной части Приволжской возвышенности. Минимальная высота рельефа 52 м, максимальная 258 м. Максимальный угол наклона склона 14,3°. Расчлененность рельефа в границах полигона 1,5 км/км<sup>2</sup>.

Анализ совокупности геоинформационных слоев показал, что характерным для ЗЛН этого полигона является незавершенность системы. Система включает 36 лесных полос, 5 массивов искусственных лесных насаждений общей площадью 137,7 га. Естественные насаждения имеют общую площадь 514 га и расположены по тальвегу и на присетевых склонах. Проведена оценка сохранности лесных насаждений, выявлены их площади по категориям и по уровням деградации (табл. 9).

Таблица 9 Сохранность лесных насаждений на полигоне "Вторая Ураковка"

Характеристика	Уровень деградации				Всего
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие	Deero
Количество лесных полос, шт.	4,0	3,0	8,0	22,0	37,0
Площадь лесных полос, га	14,6	5,6	12,4	49,5	82,1
Количество лесных массивов, шт.	0	0	4,0	3,0	7,0
Площадь лесных массивов, га	0	0	49,8	21,7	71,5
Площадь естественных насаждений, га					514,0

Можно отметить низкую сохранность полезащитных полос: из 37 полос полностью распались 22 (уровень деградации "Бедствие") общей площадью более 489 га или 59,6 % от всей площади насаждений, а вместе с полосами с уровнем деградации "Кризис" — более 60 %.

В нормальном состоянии находится лишь 4 полосы, занимающие 18,1% площади насаждений.

Лесные посадки массивами (лм) до 30 рядов (тестовый участок лм3) или кулисами (тестовый участок лм4 из 9 кулис по 8 рядов) также имеют низкую сохранность. Площадь четырех массивов насаждений (лм2, лм4, лм6, лм7) с уровнем деградации "Кризис" (сохранность 50 %) составила 49,8 га или 69,7 %, а с уровнем "Бедствие" для трех массивов лм1, лм3, лм5 – 21,7 га или 30,3 %. При этом сохранность массива лм1 составляет всего 8 %.

Таким образом, общая сохранность системы искусственных насаждений очень низкая, основная часть лесных полос и масси-

вов находится в бедственном положении, они не выполняют защитных функций и нуждаются в срочном планировании и выполнении работ по их восстановлению.

Исследование пространственного расположения лесных насаждений показывает, что часть ЛП (16 из 37) была высажена вдоль склонов с углами наклона более 3°, из них 10 высажены вдоль склонов с углами наклона от 4 до 6,44°. Сохранность таких полос с учетом площади низкая. Более 70 % деградировали до уровня "Бедствие". И только одна полоса (лп1) площадью 8,2 га находится в нормальном состоянии.

Визуализация цифровой трехмерной модели ландшафта дает возможность определить как положение полосы в ландшафте, так и ее влияние на формирование смыва на склоне (рис. 33).



Рис. 33. Визуализация трехмерной модели ландшафта на тестовом участке лп24, полигон "Вторая Ураковка"

Модель показала наличие зоны смыва на склоне, не защищенном лесной полосой, расположенной примерно в середине склона, а при наличии защитных полос зоны смыва расположены ниже лесной полосы в местах выпадов древостоя (рис. 34).

Максимальную энергию на незащищенном склоне поток приобретает в точке максимального ускорения, которое можно рассчитать по максимуму первой производной уравнения формы склона.



Рис. 34. Зоны смыва в местах выпада насаждений

Для защищенных склонов максимальный смыв наблюдается непосредственно за полосой, что вызвано прорывом накопившейся воды через участки ЛП.

В этом случае наибольшая энергия будет у концентрированного потока, далее по склону она будет резко снижаться за счет распределения по простиранию склона. Примерно такой же механизм работы потока и при наличии выпадов в насаждении, при этом сконцентрированный полосой поток прорывается через незащищенное пространство и интенсивно смывает плодородный слой. Необходимо отметить, что в целом смытость защищенной пашни с наличием даже расстроенных насаждений меньше, чем незащищенной.

В результате исследования установлена необходимость реконструкции существующей системы ЗЛН, предложен план рубежей размещения лесомелиоративных насаждений (рис. 35) и при необходимости создание гидротехнических сооружений.

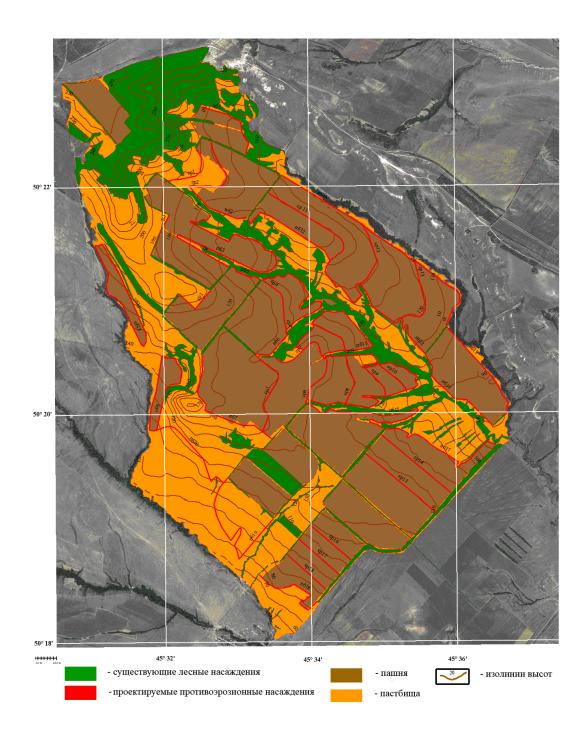


Рис. 35. Карта дополнительного размещения противоэрозионных лесных насаждений, полигон "Вторая Ураковка"

Предлагаемые критерии на основе сопряженного анализа картографо-аэрокосмической информации позволяют в первом приближении определить местоположение ЗЛН и степень эродированности земель.

Высокая эффективность оценки состояния противоэрозионных лесных насаждений с применением ГИС-технологий обу-

словлена сокращением времени обследования территории, возможностью выявления контуров и площади деградированных участков, их расположения в ландшафте и повторного периодического контроля их площади.

Выявление сохранности лесных насаждений методами дистанционной оценки дает возможность выявления не только общего состояния, но и точных координат мест деградации (выпадов), что дает возможность экономически обоснованной защиты водотоков от загрязнения продуктами эрозии.

# 6. КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТОКОРЕГУЛИ-РУЮЩИХ И ВОДООХРАННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Эффективность стокорегулирующих и водоохранных лесных насаждений определяется величиной заблокированной эрозии или заблокированного выноса продуктов смыва в водотоки, т. е. система эффективна на 100 % при отсутствии смыва. Характер формирования стока на склонах определяет способ размещения системы лесных насаждений. Наибольшая интенсивность смыва наблюдается на выпуклых профилях склонов, где при движении потока вниз криволинейно вектор общего ускорения является суммой нормального и тангенциального ускорений, определяемых крутизной и кривизной склона. На прямых склонах уклон постоянный и параметры движения стока определяются гравитационным ускорением. На вогнутых склонах вектор нормального ускорения (а соответственно и центробежная сила) направлен по радиусу, снижая величину общего ускорения, вследствие чего, смыв меньше, чем на прямом склоне.

Также величина смыва зависит от формы склона в пространстве. Существуют рассеивающие и собирающие склоны. На рассеивающих склонах преобладает плоскостной смыв, на собирающих склонах линейный.

Стокорегулирующие лесные полосы предназначены для задержания и регулирования поверхностного стока, предотвращения смыва и размыва почвы на нижележащих частях склонов, равномерного снегораспределения. Их создают на склонах крутизной более 1,5° в местах, где наблюдается интенсивный сток воды и водная эрозия почв. Располагают полосы поперек склона на расстоянии, определяемом длиной и крутизной склона. Значение стокорегулирующей лесной полосы состоит в поглощении основной массы поверхностной воды, стекающей с вышележащего поля, и недопущение смыва почвы на участках поля не только ниже, но и выше лесной полосы. Поскольку масса стекающей воды увеличивается по мере движения вниз и тем быстрее, чем больше уклон поверхности, то склон нужно разделить лесными полосами на участки такой ширины, чтобы масса воды, стекающая по их поверхности, не могла достигнуть критической величины, вызывающей смыв почвы. Теоретически рассчитать оптимальные расстояния между лесными полосами пока нельзя, так как нужно учесть слишком много переменных величин: крутизну склона, противоэрозионную стойкость почв, характер стока воды и пр. Ответ на этот вопрос обычно дает проверка на опытных участках.

На склонах до 4° расстояние между стокорегулирующими полосами не должно превышать на серых лесных почвах и оподзоленных черноземах 350 м, на выщелоченных, типичных, обыкновенных и южных черноземах — 400 м, на каштановых почвах — 300 м. На склонах с углом более 4° расстояние между полосами уменьшается до 100-200 м. Стокорегулирующие полосы создают ажурные конструкции, а на ветроударных склонах — ажурные и продуваемые конструкции шириной не более 15 м. Расстояние между полосами на глинистых и суглинистых почвах 150-200 м, на супесчаных 200-300 м.

Наиболее эродируемой частью водосбора является суходольная гидрографическая сеть. Исследованиями установлена оптимальная лесистость водосборов, при которой эрозионные процессы не превышают допустимых величин, а площадь используется наиболее рационально. Для Среднерусской возвышенности оптимальной лесистостью считается 40 % с колебаниями от 8 до 92 % в зависимости от развития эрозионных процессов.

Стокорегулирующая лесная полоса, в зависимости от ширины, рядности и конструкции, способна задерживать от 15 до

30 мм стока.

Лесные полосы регулируют сток воды на площади водосбора гидрографической сети. При этом не весь сток поглощается в лесных полосах. Часть его достигает и концентрируется в гидрографической сети.

В качестве основных ориентиров при проектировании принимают ширину стокорегулирующих лесных полос равной 15-20 м, а прибалочных — 20-30 м. В последнем случае большую ширину выбирают, если берега изрыты промоинами, или по дну образовался овраг, что указывает на большое количество воды, стекающей в балку.

Прибалочные и приовражные лесные полосы высаживаются вдоль берегов балок, оврагов или лощин. Они выполняют те же функции, что и стокорегулирующие, расположенные выше их на пахотных склонах. Прибалочные лесные полосы закладывают вдоль крутых берегов по границе пашни, на расстоянии от бровки 3-5 м, а вдоль пологих берегов, где бровка ясно не выражена, их закладывают ниже границы пашни по берегу балки для большей экономии площади пашни.

По ложбинам, концентрирующим сток, создают илофильтры в виде густой посадки кустарниковых пород по дну и берегам на расстоянии до 100 м вверх от впадения ложбины в пруд. Илофильтры задерживают (кольматируют) твердый сток и предохраняют водотоки от заиления.

Стокорегулирующие, прибалочные и приовражные лесные полосы, балочные лесные насаждения, илофильтры и прочие насаждения гидрографической сети являются основным звеном системы лесомелиоративных насаждений. Система образуется определенным размещением насаждений на различных участках склона с целью значительного сокращения поверхностного стока воды, прекращения плоскостной эрозии и возникновения и роста оврагов, в т. ч. по дну гидрографической сети.

В единую систему защитно-мелиорирующих насаждений входят и береговые лесонасаждения в виде полос или массивов, создаваемые для укрепления и защиты берегов водотоков и водоемов. Они: а) скрепляя почву корнями, предотвращают эрозию и абразию; б) задерживая поверхностный сток, уменьшают загрязнение и заиление рек и водоемов; в) задерживая снег и регулируя снеготаяние, уменьшают паводки и увеличивают меженный сток рек, уменьшают весенний и повышают меженный уровень воды в водоемах; г) затеняя водную поверхность и уменьшая скорость ветра, уменьшают испарение с водной поверхности; д) вследствие благотворного влияния, улучшают санитарно-гигиенические условия водоемов и прилегающих территорий, улучшают условия обитания рыбы и птиц, украшают ландшафт в целом. В этих целях, прежде всего, необходимо сохранять и улучшать естественные лесонасаждения вдоль рек и вокруг водоемов, а при их отсутствии выращивать искусственные.

Для теоретических расчетов параметров лесных полос требуется учитывать крутизну, длину и форму склона, водопроницаемость почв, изменчивость стока воды. Величина и интенсивность стока воды меняются по годам и зависят как от длины и крутизны склона, так и от погодных условий. Повторяемость какой-либо величины стока воды по годам, выраженную в процентах, принято называть обеспеченностью стока. Например, 10 %ная обеспеченность означает, что такой сток может наблюдаться один раз в 10 лет, а в остальные 9 лет величины стока будут меньше; 50 %-ная обеспеченность означает, что принятая величина стока в пяти случаях из десяти будет больше, а в пяти — меньше фактической. Чем больше величина стока, тем реже она повторяется, например, величина стока 10 %-ной обеспеченности будет значительно больше величины 50 %-ной, и для поглощения такого стока потребуется большая ширина лесной полосы.

Выявленная обеспеченность дает возможность планировать

лесомелиоративное обустройство водосборов. В настоящий момент эта величина выводится опытным путем разная для различных географических зон. Существуют специальные гидрологические ряды обеспеченности стока, которые были построены многолетними наблюдениями и полевой работой ученых.

Эмпирическую ежегодную вероятность превышения гидрологических характеристик определяют по формуле [59]:

$$Pm = \frac{m}{n+1}100, (7)$$

где Pm — вероятность превышения, %; m — порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенных в убывающем порядке; n — общее число членов ряда.

Основные параметры распределения и расчетные значения стоковых характеристик определяют с помощью следующих основных методов:

- водного баланса;
- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения карт изолиний;
- построения региональных зависимостей от основных физико-географических факторов водосборов;
- построения зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами [43].

Для поглощения стока воды большое значение имеет ширина лесной полосы. Чем она шире, тем полнее будет поглощать воду, притекающую с расположенного выше поля, и тем надежнее будут защищены от эрозии поля, находящиеся по склону ниже лесной полосы. Однако при большой ширине лесные полосы займут много пахотной земли. Поэтому очень важно установить минимально необходимую ширину лесных полос, достаточную для полного поглощения стока воды. Согласно указаниям [16], ширина водорегулирующих полос должна быть не более 15 м. Создаваемые полосы имеют, как правило, ажурную или проду-

ваемую конструкцию с участием кустарников. Для возможности обработки междурядий и уходов за насаждениями их ширину принимают тракторопроходимой -3 м.

Установлено, что коэффициент стока резко снижается по мере увеличения ширины лесной полосы. В полосах шириной 20-30 м задерживается 85-92 % (т. е. коэффициент стока 0,15-0,08) общего объема стока, что в значительно мере предотвращает попадание продуктов смыва в водотоки.

При полностью облесенной территории водосбора поверхностный сток воды практически отсутствует (коэффициент стока около 0,02), поэтому там нет и эрозии почвы. Почвозащитные свойства леса обусловлены: 1) наличием рыхлого слоя (3-5 см) лесной подстилки, 2) повышенной водопроницаемостью почвы под лесом, 3) особенностью микроклимата леса.

Интенсивность эрозионных процессов возрастает в связи с увеличением площади пашни. Для лесостепной и степной зон характерна максимальная степень освоенности территории. Особенно велика доля пашни на Среднерусской и Приволжской возвышенности. Средний ежегодный смыв почвы с площадей пашни определяется в пределах от 10-25 до 40-50 т/га, а процессами смыва охвачено до 50 %, а иногда до 75 % пашни. Во многих хозяйствах центральной лесостепи до 30-40 %, а иногда и до 50 % пашни размещено на смытых почвах.

Водная эрозия в полупустынной и пустынной зонах развита значительно меньше, чем в степной и лесостепной. В связи с меньшей распаханностью территории значительная часть смываемой почвы не доходит до базиса эрозии, а отлагается по пути на нижних частях склонов, в балках, на пойме, а также в лесах, лесополосах и на лугах. Так, например, в большие реки попадает лишь около 1 % смываемого материала, а до малых рек и водоемов доходит 3-5 %. Поэтому с элементарного водосбора площадью 5-10 га потери почвы будут при прочих равных условиях в

десятки раз больше, чем с водосбора площадью более 100 км<sup>2</sup>.

Стокорегулирующие и прибалочные полосы, размещенные в единой системе, ограничивают или полностью прекращают смыв почвы.

Для оценки эффективности лесных насаждений по предотвращению выноса продуктов смыва предлагаются 4 основных критерия:

- 1 наличие завершенной системы защиты водосбора, включающей все виды лесных насаждений;
- 2 соответствие пространственного размещения лесных насаждений ландшафтным особенностям водосбора;
- 3 соответствие конструктивных параметров искусственных лесных насаждений установленным нормам;
  - 4 эффективная сохранность лесных насаждений.

Критерии завершенности системы защиты водосбора.

Завершенность системы защиты водосбора подразумевает как наличие лесомелиоративного каркаса, включающего все виды лесных насаждений, так и размещение этих насаждений в определенном порядке и с рекомендованными параметрами по протяжению от водораздела до тальвега с учетом формы конкретного склона для обеспечения полного зарегулирования стока.

*Критерий наличия лесомелиоративного каркаса*, под которым понимается:

наличие на склонах, используемых под пашню, от водораздела ( $0^{\circ}$ ) до поверхности с уклоном  $1,5^{\circ}$  полезащитных лесных насаждений, размещаемых для защиты пашни в основном от дефляции и, соответственно, предотвращающих вынос эрозионных частиц в русла водотоков;

наличие на рубеже 1,5° стокорегулирующей лесной полосы для завершения системы полезащитных лесных полос;

наличие стокорегулирующих лесных полос на склонах, используемых и не используемых под пашню на поверхностях с ук-

лоном от  $1,5^{\circ}$ ;

наличие вдоль берегов балок, оврагов или лощин прибалочных и приовражных лесных полос;

наличие кулис кустарников на необрабатываемых склонах; наличие сплошных посадок полукустарников в межкулисных склоновых пространствах, не используемых под пашню;

наличие по дну и берегам временных водотоков илофильтров; наличие береговых лесонасаждений.

В результате наличия лесомелиоративного каркаса создается основа завершенной лесомелиоративной системы защиты водосбора от загрязнений.

Критерий размещения лесных насаждений.

Размещение лесных насаждений на водосборах должно соответствовать их функциональному назначению.

Полезащитные лесные полосы для защиты пашни на склоновых поверхностях водосборов с углами наклона до 1,5° должны быть расположены перпендикулярно направлению преобладающих ветров в эрозионно-опасный период, а при углах наклона более 1,5° с учетом направления и формы склона, не допуская размещения вдоль лини тока. Вспомогательные полезащитные лесные полосы на склоновых поверхностях водосборов с углами наклона до 1,5° размещают перпендикулярно основным, защищая пашню от ветров других направлений, при углах наклона более 1,5° не допускается их размещение вдоль линии тока. Расстояние между основными полосами полезащитных насаждений определяется в зависимости от типа почв и их гранулометрического состава (табл. 10).

При углах наклона более 1,5° расстояние между полосами уменьшается пропорционально увеличению этого угла.

При наличии однонаправленных преобладающих ветров длина основных полос выбирается примерно в 4 раза больше длины вспомогательных, а при наличии повторяющихся ветров перпендикулярных румбов эта длина уменьшается.

## Максимальные расстояния между основными полезащитными лесополосами

Почва	Гранулометрический состав			
Почва	суглинистый	супесчаный		
Серые лесные, оподзоленные, выщело-				
ченные черноземы	600	400		
Черноземы типичные и обыкновенные	500	350		
Черноземы южные	400	300		
Темно-каштановые	350	200		
Каштановые	300	150		

При отсутствии пашни на склонах создаются *стокорегули- рующие лесные полосы*, которые размещают на склонах по изолиниям высот [7]:

- на склонах прямого профиля с односторонним падением перпендикулярно линии тока, параллельно друг другу;
- на склонах собирающего и рассеивающего типа контурно (по изолиниям высот) со спрямлением трасс по понижениям с допустимыми углами склонов;
- на сложных склонах, пересеченных ложбинами, лощинами, оврагами контурно (по изолиниям высот) непараллельно линиям тока.

Расстояния между стокорегулирующими лесными полосами могут изменяться в зависимости от особенностей рельефа, при этом максимальные значения должны быть следующими:

- на склонах с углами менее  $4^{\circ}$  (уклон 0,070) на серых лесных почвах и оподзоленных черноземах степи до 350 м;
- на выщелоченных, обыкновенных и южных черноземах до 400 м;
  - на каштановых почвах до 300 м;
- на склонах крутизной более  $4^{\circ}$  расстояние уменьшается до  $200~\mathrm{m}$ .

Прибалочные и приовражные лесные полосы должны быть расположены на границах присетевых склонов и гидрографической

сети (бровки балок или оврагов), на участках интенсивного стока с наличием смыва и размыва почвы. Прибалочные лесные полосы должны быть размещены вдоль бровок балок на расстоянии 3-5 м, приовражные — вдоль бровок оврагов на расстоянии 10-15 м.

По днищам балок и оврагов, по которым переносится в речные долины мелкозем, в средней и устьевой их части необходимо высаживать насаждения — илофильтры (кольматирующие лесные насаждения) с размещением рядов через 1,0 м и растениями в рядах через 0,5 м.

Располагают илофильтры поперек дна лентами шириной 10-30 м, чередуя с залуженными участками шириной 150-200 м. В каждый илофильтр высаживают 10-15 рядов кустарников в чередовании с 2-3 рядами ив или тополей.

*Критерий соответствия проектным нормам*. Все насаждения лесомелиоративного каркаса полностью выполняют свою функцию только при достижении проектных показателей.

Защитные лесные насаждения водосборов должны отвечать следующим характеристикам [47].

Ширина земельного участка, на котором расположены деревья, составляющие ЗЛН должна составлять:

- а) для полезащитных лесных насаждений:
- на юге лесной, в лесостепной зоне на всех почвах и северной части степной зоны на типичных и обыкновенных черноземах не менее 3 м,
- в степной зоне на южных черноземах, темно-каштановых и каштановых почвах не менее 3 м,
  - на песках всех зон до 3 м, но и не более 15 м;
- б) для стокорегулирующих лесных насаждений не менее 9 м и не более 15 м;
- в) для других (приовражных, прибалочных) лесных насаждений – не менее 12,5 м, но не более 21 м.

Ширина закраек полезащитных лесных полос для обеспече-

ния их нормального развития и функционирования должна быть:

- на юге лесной, в лесостепной зоне на всех почвах и северной части степной зоны на типичных и обыкновенных черноземах 1,5-2,0 м;
- в степной зоне на южных черноземах, темно-каштановых и каштановых почвах 2,5-3,0 м;
- в степной и полупустынной зонах на каштановых и светлокаштановых почвах 4-5 м.

Ширина прибалочных лесных полос должна быть в пределах от 15 до 30 м (5-10 рядов деревьев и кустарников с междурядьями 3 м и закрайками 1,5 м). Кустарники размещают в опущечных рядах или чередуют с деревьями в каждом ряду (через посадочное место).

Приовражные лесные полосы должны быть размещены вдоль бровок оврагов на расстояниях не менее 3-5 м от них. Приовражные лесные полосы должны охватывать участки разветвления или размещаться выше вершин всех отвершков. Ширина приовражных лесных полос изменяется в пределах 15-30 м, при этом, вдоль овражных бровок 15-21 м, 24-30 м — выше вершинных перепадов на участках расчлененных склонов или ветвящихся оврагов. Ширина междурядий таких полос 3 м, расстояния между посадочными местами в ряду 1,0-1,5 м, конструкция плотная.

Критерий эффективной сохранности противоэрозионных лесных насаждений. Эффективная сохранность противоэрозионных лесных насаждений определяется их минимальной сохранностью, позволяющей выполнять функции регулирования стока без образования концентрированных потоков. Любые нарушения поверхности наземных опушечных зон могут привести к прорыву стоковых вод и, соответственно, к выносу почвенных частиц вниз по склону. При этом могут образоваться как смыв, так и линейные формы эрозии. Важным фактором, блокирующим прорыв потока на защищаемую нижележащую поверхность склона, является сохранность эффек-

тивной ширины насаждения, которая изменяется по мере выпадения древесных и кустарниковых растений в рядах (рис. 36).



полог стокорегулирующей лесной полосы места отсутствия древесной и кустарниковой растительности граница зоны интенсивного смыва эффективная ширина стокорегулирующей лесной полосы  $(B_{3\phi\phi})$  направление склона

Рис. 36. Космоснимок поверхности склона с пашней под защитой стокорегулирующей лесной полосы с коэффициентом сохранности 0,32

В связи с этим, критерием эффективной сохранности  $C_{\ni \Phi \Phi}$  стокорегулирующих лесных полос можно считать отношение минимальной реальной сохранившейся ширины насаждения  $B_{\rm C}$  к проектной ширине  $B_0$ :

$$C_{\mathcal{I}\Phi\Phi} = B_{\mathcal{C}}/B_0. \tag{8}$$

При отсутствии деревьев и кустарников на каком либо участке водорегулирующей лесной полосы значение  $B_{\rm C}$  принимается равным 0. И, соответственно, лесная полоса не выполняет функцию регулирования стока, а  $C_{\mathcal{I}} = 0$ .

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Адаптивно-ландшафтное лесомелиоративное обустройство водосборов обеспечивает необходимую защиту их от загрязнения продуктами смыва, в узком смысле, и создание комфортных экологических условий функционирования водосборов в широком. При этом обеспечивается ограничение поступления в водосборы поллютантов различного происхождения и защита прибрежных зон от разрушения.

Разные участки эродируемого водосбора в неодинаковой степени подвержены воздействию эрозийных процессов. Поэтому конкретный состав противоэрозионных мер на отдельных участках водосбора должен быть различным, а также различно и их хозяйственное использование. В связи с этим защита от водной эрозии и должна начинаться с противоэрозионной организации территории и других организационно-хозяйственных мероприятий. Обычно весь эрозионно-опасный водосбор по степени выраженности эрозионных процессов подразделяют на отдельные зоны и группы. Такое противоэрозионное деление территории водосбора предопределяет применение и расположение по водосбору основных противоэрозионных мероприятий и характер хозяйственного использования каждой выделенной группы. Соответственно отдельным ландшафтным зонам изменяется основная функция лесных насаждений. Только при соблюдении системной организации лесных насаждений, с последовательной реализацией их функций по зонам, соблюдении основных нормативов размещения в ландшафтах, обеспечения лесохозяйственных уходов и поддержания сохранности можно добиться эффективной защиты бассейнов рек от загрязнений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. А. с. 1301330. Способ мелиорации оврагов / Ивонин В. М., Прахов А. В. (СССР). № 3958755/30-15; заявл. 06.08.85; опубл. Б. И., 1987. № 13. С. 3-6.
- 2. А. с. 1356976. Способ закрепления вершины оврага / Зыков И. Г., Антонов В. И. (СССР); заявл. 11.03.86; опубл. Б. И., 1987. № 45.
- 3. А. с. 1404000. Способ защиты почв от эрозии на склонах / Барабанов А. Т., Гаршинёв Е. А., Крупчатников А. И., Пружин М. К. (СССР). № 4092884/30-15; заявл. 02.06.86; опубл. 23.06.88 // Бюл. ВНИИПИ. 1998. № 23.
- 4. Агролесомелиорация / Под ред. А. Л. Иванова, К. Н. Кулика. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.
- 5. Адаптивно-ландшафтное обустройство земель сельскохозяйственного назначения лесостепной, степной и полупустынной зон европейской части Российской Федерации / К. Н. Кулик [и др.]. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2012. 124 с.
- 6. Азбукина Е. Н. Дешифрирование аэрофотоснимков для геоморфологических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1969.
- 7. Аковецкий В. И. Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983. 374 с.
- 8. Анопин В. Н., Рулев А. С. Картографирование деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья // Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. Волгоград: ВолгАСУ, 2007. 168 с.
  - 9. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
- 10. Арманд Д. Л. Антропогенные эрозионные процессы // Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 737 с.
- 11. Баланс наносов в речных бассейнах рек Русской равнины / В. Н. Голосов [и др.] // Геоморфология. 1992. N 4. С. 62-71.
- 12. Беляев В. А. Борьба с водной эрозией почв в Нечерноземной зоне. М.: Россельхозиздат, 1976. 160 с.
- 13. Берлянт А. М., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. Картография и геоинформатика // Итоги науки и техники. Серия Картография. М.:

- ВИНИТИ, 1991. Т. 14. 176 с.
- 14. Бобровицкая Н. Н. Методические рекомендации по применению материалов аэрофотосъемок для исследования и расчета характеристик водной эрозии почв. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 110 с.
- 15. Боголюбова И. В., Караушев А. В. Водная эрозия и сток наносов // Сб. науч. тр. ГГИ. Л.: Гидрометеоиздат. Вып. 2101974. С. 14.
- 16. Брауде И. Д. Закрепление и освоение оврагов, балок и крутых склонов. М.: Сельхозгиз, 1959. 284 с.
- 17. Брауде И. Д. Эрозия почв, засуха и борьба с ними. М.: Наука, 1965. 140 с.
- 18. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-Ф3 (ред. от 29.07.2017) [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://www.consultant.ru/document/cons-doc\_LAW\_60683/">http://www.consultant.ru/document/cons-doc\_LAW\_60683/</a>
- 19. Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. М.: Гидрометеоиздат, 1988. 286 с.
  - **20**. Высоцкий Г. Н. Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1960. 472 с.
- 21. Гаршинёв Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. 196 с.
- 22. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации / В. Г. Юферев [и др.]. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.
- 23. Голосов В. Н Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
- 24. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2016 году. М.: Министерство экономического развития Российской Федерации. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2017. 220 с.
- 25. Гудзон Н. Охрана почвы и борьба с эрозией. М.: Колос, 1974. 226 с.
- 26. Дедков А. П., Мозжерин В. И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во КГУ, 1984. 264 с.
- 27. Добрынин Ф. Д. Эрозия почв и защитное лесоразведение. Саратов, 1978. 72 с.
- 28. Ермолаев О. П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ланд-шафтах речных бассейнов. Казань: Изд-во КГУ, 1992. 148 с.
- 29. Ерусалимский В. И. О лесистости // Лесное хозяйство. 2009. № 5. С. 13-15.
  - 30. Жирин В. М., Лукина Н. В. Развитие системы инвентаризации ле-

- сов в России // Лесной вестник. 2017. Т. 21. № 2. С. 4-14.
- 31. Зыков И. Г. Фитомелиорация овражно-балочных земель // Защитное лесоразведение в Российской Федерации: материалы Международ. науч.-практ. конф., Волгоград, 17-19 окт. 2011 г. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. С. 45-48.
- 32. Ивонин В. М. Противоэрозионные мелиорации водосборов в районах оврагообразования. М., 1992. 378 с.
- 33. Калинин Г. П. Роль леса в распределении осадков // Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения. Л.: Гидрометеоиздат, 1950. С. 24-29.
- 34. Калиниченко Н. П., Зыков И. Г. Противоэрозионная лесомелиорация. М.: Агропромиздат, 1986. 280 с.
- 35. Калиниченко Н. П., Ильинский В. В. Лесомелиорация овражнобалочных систем. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 326 с.
- 36. Карандеева М. В. Геоморфология европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1957. 314 с.
- 37. Картографирование зон экологического неблагополучия по динамическим критериям / Б. В. Виноградов, [и др.] // Экология. 1988. № 4. С. 243-251.
- 38. Картографирование состояния защитных лесных насаждений по аэрокосмоснимкам / В. Г. Юферев [и др.] // Роль и место агролесомелиорации в современном обществе: материалы Международ. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию ВНИИ агролесомелиорации, г. Волгоград, 10-13 окт. 2006 г. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. С. 250-261.
- 39. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмическое зондирование: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1997. 129 с.
- 40. Козменко А. С. Борьба с эрозией почвы на сельскохозяйственных угодьях. М.: Сельхозиздат, 1963. 208 с.
- 41. Козменко А. С. Основы противоэрозионной мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1954. 424 с.
- 42. Краснощеков Г. П., Розенберг Г. С. Естественно-исторические аспекты формирования территории Волжского бассейна // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 1999. № 1. С. 108-117.
- 43. Кузник И. А. Агромелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 220 с.
- 44. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферев В. Г. Аэрокосмические методы картографирования и оценки состояния агролесоландшафтов // Методиче-

- ское обеспечение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения: материалы Всерос. науч. конф. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2010. С 165-171.
- 45. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферев В. Г. Дистанционно-картографическая оценка деградационных процессов в агроландшафтах Юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2009. № 4. С. 12-25.
- 46. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферев В. Г. Картографо-аэрокосмический мониторинг ландшафтов // Эколого-экономическая оптимизация природопользования: материалы Круглого стола, г. Волгоград, 30 март. 2004 г. Волгоград: ВолГУ, 2004. С. 215-219.
- 47. Кулик К. Н., Юферев В. Г. Компьютерное математико-картографическое моделирование агролесоландшафтов на основе аэрокосмической информации // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. -2010. № 1- С. 52-54.
- 48. Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 29.12.2017) [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://www.consultant.ru/document/cons\_doc\_LAW\_64299/">http://www.consultant.ru/document/cons\_doc\_LAW\_64299/</a>
  - 49. Лесной план Астраханской области. Астрахань, 2014. 266 с.
  - 50. Лесной план Ивановской области. Иваново, 2015. 455 с.
  - 51. Лесной план Московской области. Kн. 1. M., 2010. 450 c.
- 52. Лесной план Нижегородской области. Кн. 1. Нижний Новгород Йошкар-Ола, 2008. 399 с.
- 53. Лесной план Пермского края на 2018-2027 годы. Пермь, 2017. 476 с.
  - 54. Лесной план республики Татарстан. Казань, 2008. 605 с.
- 55. Литвин Л. Ф. Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1970. С 132-142.
- 56. Лосицкий К Б. К вопросу об оптимальной лесистости // Лесное хозяйство. -1961. -№ 11. С. 44-48.
- 57. Материалы научного отчета о выполнении НИР по заданию III.3 "Разработать научное обоснование оптимизации лесистости, как фактора стабилизации экологической обстановки, и практические рекомендации по улучшению породного состава лесов" / Науч. рук. темы акад. НАН Беларуси В. И. Парфенов. Минск, 1999. 38 с.
- 58. Мероприятия по охране почв от эрозии // Научный обзор ФГНУ "РосНИИПМ". М.: ФГНУ ЦНТИ "Мелиоводинфор ", 2010. 71 с.

- 59. Методика "Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия". М., 1992 (утв. Министерством природных ресурсов 30.11.92 г.).
- 60. Михайлова Н. А., Орлов Д. С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. М: Наука, 1986. 120 с.
- 61. Модели агролесоландшафтов (математико-картографические) для деградированных территорий сухостепной зоны европейской части РФ / К. Н. Кулик, [и др.] // Достижения науки в Волгоградской области 2004-2009; ред. совет: А. Г. Бровко [и др.]; Администрация Волгоградской области; Управление науки, промышленности и ресурсов аппарата Главы Администрации Волгоградской области. Волгоград: Панорама, 2010. С. 414-416.
- 62. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 487 с.
- 63. Молчанов А. А. Оптимальная лесистость (на примере ЦЧР). М.: Наука, 1966.-126 с.
- 64. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загреев [и др.]. М.: Колос, 1992. 495 с.
- 65. Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование / Под ред. Н. Ф. Глазовского. М.: Изд-во ИГРАН, 1995. 213 с.
- 66. Павловский Е. С. Экологическое значение защитных лесонасаждений // Экология и земледелие. М.: Изд-во Наука, 1980. С. 113-120.
- 67. Пат. № 2265839 С1 Российская Федерация, G01N33/24, G01V9/00. Способ определения состояния почвы, подверженной деградации / Юферев В. Г., Кулик К. Н., Рулев А. С., Бакурова К. Б; заявитель ГНУ ВНИАЛМИ Россельхозакадемии. №2004111328/14; заявл. 13.04.04; опубл. 10.12.05, Бюл. № 34; приоритет 13.04.04. 3 с.
- 68. Пат. № 2330242 С1 Российская Федерация, МПК G01С 11/00. Способ определения состояния защитных лесных насаждений / Юферев В. Г., Кулик К. Н., Рулев А. С., Кошелев А. В.; заявитель ГНУ ВНИАЛМИ Россельхозакадемии. №2006144553/28; заявл. 13.12.06; опубл. 27.07.08, Бюл. № 21; приоритет 13.12.06. 3 с.
- 69. Пат. № 2527084 С1 Российская Федерация, МПК А01В 79/02, 13/16 (2006.01). Способ защиты почв от эрозии на склонах в садах и лесных насаждениях) / Петелько А. И., Рулев А. С., Юферев В. Г., Юферев М. В., Рулев Г. А.; заявитель ГНУ Всероссийский НИИ агролесомелиорации Россельхозакадемии (RU). № 2013111139/13; заявл. 12.03.13, опубл. 27.08.14,

- Бюл. № 24; приоритет 12.03.2013. 3 с.
- 70. Площади водосборных бассейнов и плотность речной сети малых рек Среднего Поволжья // Труды Казанского филиала АН СССР. Серия Энергетика и водное хозяйство. Казань, 1960. Вып. 5. 274 с.
- 71. Побединский А. В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. 208 с.
- 72. Постановление губернатора Волгоградской области о внесении изменений в постановление Главы Администрации Волгоградской области от 11 февраля 2009 г. № 144 "Об утверждении Лесного плана Волгоградской области на 2009-2018 гг." от 25 ноября 2016 г. № 875. Волгоград, 2016. 218 с.
- 73. Постановление губернатора Саратовской области "Об утверждении Лесного плана Саратовской области" от 9 февраля 2016 года № 33. Саратов, 2016. 287 с.
- 74. Правила содержания защитных лесных насаждений. М: Минсельхоз России, 2016. 38 с.
- 75. Разработка проекта СКИОВО, включая НДВ, бассейна реки Волга (С-11-01). Кн. 1. Общая характеристика бассейна реки Волга / Отв. исп. М. В. Лурье. М., 2011. 180 с.
- 76. Розенберг Г. С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра, 2009. 477 с.
- 77. Рулев А. С. Ландшафтно-географический подход в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. 160 с.
- 78. Рулев А. С., Юферев В. Г. Аэрокосмическое картографирование эрозионных процессов на основе катенарно-логистического подхода // Стрежень: научный ежегодник; под ред. М. М. Загорулько. Волгоград: Издатель, 2008. Вып. 6. С. 36-40.
- 79. Рулев А. С., Юферев В. Г. Картографо-геоинформационное моделирование в агролесомелиорации // Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы: материалы Всерос. конф. (с международным участием), 14-15 окт. 2010 г., Санкт-Петербург. СПб: АФИ, 2010. С. 68-71.
- 80. Рулев А. С., Юферев В. Г., Кошелев А. В. Защитные лесные насаждения как средство активного управления ландшафтами Восточного Причерноморья // Научный вестник СКНИИиСП ЮФУ: Южно-Российский форум: экономика, социология, политология, социально-экономическая география; гл. ред. А.Г. Дружинин. Ростов-на-Дону: ЗАО "Центр

- Универсальной Полиграфии", 2011. С. 112-117.
- 81. Рулев А. С., Юферев В. Г., Юферев М. В. Компьютерное моделирование агролесоландшафтов в геоинформационной среде // Математическое моделирование в экологии: материалы Второй Национальной конф. с междунар. участием, 23-27 мая 2011 г. Пущино: ИФХиБПП, РАН, 2011. С. 228-230.
- 82. Рулев А. С., Юферев В. Г., Юферев М. В. Методология геоинформационного моделирования // Вестник Российской академии сельско-хозяйственных наук, сентябрь-октябрь. М., 2011. № 5. С. 5-6.
- 83. Самойлович Г. Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1953. 476 с.
- 84. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2003. 70 с.
- 85. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод. М.: Московское отделение Гидрометеоиздата, 1966. 375 с.
- 86. Харченко Н. Н., Харченко Н. А., Ахтырцев А. Б. Мелиоративная роль дубрав центральной лесостепи // Лесотехнический журнал. 2014. 1. C. 40-47.
- 87. Хортон Р. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1948. 158 с.
- 88. Чеканышкин А. С., Лепехин А. А. Состояние защитного лесоразведения в Центрально-Черноземной зоне // Лесной журнал. 2015. № 4. С. 9-17.
- 89. Швебс Г. И. Формирование водной эрозии стока, наносов и их оценка. М.: Гидрометеоиздат, 1974. 182 с.
- 90. Энциклопедия агролесомелиорации /Сост. и гл. ред. Е. С. Павловский. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 678 с.
- 91. Юферев В. Г. Дистанционный мониторинг состояния и динамики агроландшафтов // Земледелие. 2007. № 3. С. 8-9.

### ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Мелиоративная эффективность стокорегулирующих и водоохран-	
ных насаждений	5
2. Анализ размещения лесных насаждений	17
3. Современное состояние стокорегулирующих и водоохранных на-	
саждений Волжского бассейна	26
4. Принципы функционирования стокорегулирующих и водоохран-	
ных насаждений	38
5. Критерии состояния стокорегулирующих и водоохранных лесных	
насаждений	44
6. Критерии эффективности стокорегулирующих и водоохранных	
лесных насаждений	80
Заключение	92
Литература 9	93

Юферев Валерий Григорьевич, *Кошелева* Ольга Юрьевна, *Шинкаренко* Станислав Сергеевич, *Ткаченко* Наталья Александровна, *Пугачёва* Анна Михайловна

КРИТЕРИИ СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ И ВОДООХРАННЫХ НАСАЖДЕНИЙ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Текст представлен без участия научного и литературного редакторов Компьютерная верстка В. Г. Гирявенко

Подписано в печать 08.10.2019. Объем 5,04 уч.-изд. л. Заказ 13. Тираж 500 (первый завод 100 экз.)

400062, Волгоград, Университетский проспект, 97. Копировально-множительное бюро ФНЦ агроэкологии РАН