

Подъем уровня иммуноглобулинов G и M можно расценить как приспособительную реакцию организма, а увеличение содержания IgA возникает, вероятно, как реакция на постоянное раздражение слизистых оболочек токсическими веществами. Следует однако отметить, что у 40% лиц имело место снижение уровня иммуноглобулина A, что может быть связано с угнетением активности клеток лимфоидных образований, ассоциированных со слизистыми оболочками организма. Повышение синтеза иммуноглобулина G может приводить при определенных условиях к развитию аутоаллергических реакций (Хаитов Р.М., Пинегин Б.В., 1997).

Проведенные исследования выявили у рабочих по сравнению с контролем повышение уровня циркулирующих иммунных комплексов, что может свидетельствовать о возможном развитии иммунокомплексного синдрома, способствующего повреждению тканей и органов. Повышение ЦИК сопровождалось снижением уровня комплемента. Данный показатель был низким во всех возрастных группах и не зависел от стажа работы. Возможно, снижение комплемента обусловлено или связыванием его ЦИК, или снижением его синтеза клетками мононуклеарного ряда.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что меркурит титана обладает выраженным иммуотропным действием. Он вызывает изменения в системе гуморального иммунитета у рабочих светотехнического производства, что вызывает необходимость проведения профилактических мероприятий для предупреждения развития эколого- и иммунозависимых заболеваний.

Работа представлена на VI научную конференцию с международным участием «Успехи современного естествознания», 27-29 сентября 2005г. ОК "Дагомыс" (Сочи). Поступила в редакцию 20.09.2005г.

МИНИМИЗАЦИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЕСНУЮ СРЕДУ В ПРОЦЕССЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК

Питухин А.В., Сюнёв В.С.

Петрозаводский государственный университет

Леса являются важным составным элементом биосферы земли. Многообразие их экологических функций заключается в обогащении атмосферы кислородом, формировании климата, регулировании и очистке водных стоков, предотвращении эрозии почв и сохранении их плодородия, обеспечении генетического разнообразия. Поэтому сегодня проблема неистощительного, рационального использования, охраны и воспроизводства лесов является одной из глобальных для всего человечества.

На протяжении многих лет леса Земли активно эксплуатировались. Некоторые районы оказались полностью обезлесенными, произошла эрозия почв, изменился климат. Классическими примерами отрицательных последствий хищнического лесопользования являются территория острова Мадагаскар, некоторые районы Южной Америки.

Северные бореальные леса обеспечивают развитую лесную промышленность Европы и Америки ка-

чественным древесным сырьем. Хотя в настоящее время на территории Российской Федерации расчетная лесосека полностью не осваивается, в ряде в прошлом богатых лесных регионов вновь ощущается нехватка древесины, появилась потребность в освоении новых лесных территорий. Усилилось наступление на девственные леса севера. Преобладание сплошнолесосечной заготовки леса, хлыстовой технологии, мощной техники, обеспечивающей высокую производительность и экономическую эффективность, отрицательно влияло и влияет на экологию лесных биосистем.

По мнению экологов, дальнейшая активная вырубка лесов севера может привести к отрицательным последствиям в биосфере Земли. Ряд отрицательных экологических последствий уже дает о себе знать, особенно в лесах европейской части России.

Ряд государств ввел необходимые коррективы в свою лесную политику. Определелись конкретные направления рационального экологически обусловленного лесопользования.

Одним из путей сохранения и приумножения лесных ресурсов севера является снижение объема сплошных рубок леса с одновременной компенсацией количества недополученного древесного сырья от проведения несплошных рубок, особенно - рубок ухода за лесом. Широкое внедрение систем таких рубок позволяет обеспечить улучшение условий роста леса, сократить площади сплошных вырубок. На этих видах рубок положительно зарекомендовала себя сортиментная технология лесозаготовок и соответствующая техника.

При выборе технологий и машин для лесозаготовок, разработке, создании и эксплуатации новых лесозаготовительных машин экологические аспекты проектирования выдвигаются в число наиболее значимых. Величины удельного давления машин на почву, глубина колеи, степень повреждаемости корневых систем и стволов, оставляемых деревьев, уровень выброса газов в атмосферу, способность к биологическому разложению применяемых масел - вот круг вопросов, решаемых сегодня в свете обеспечения экологической совместимости машин с лесной средой.

Повреждения ствола и корневой шейки происходят при наведении рабочих органов лесозаготовительных машин на срезаемое дерево. При этом повреждаются рядом растущие деревья, удаление которых из древостоя при данной рубке не планируется. От ударов рабочего органа (валочной головки) о рядом стоящие стволы возникают обдиры коры на шейке и стволе на высоте до 1,5 метров от уровня земли. Впоследствии такие повреждения могут легко инфицироваться и привести к гибели дерева, особенно ели.

Повреждения коры на большей высоте могут быть обусловлены ударами манипулятора в процессе оперирования с обрабатываемым деревом или самим обрабатываемым деревом при его валке. Значительная доля повреждений вызвана работой погрузочно-транспортных машин.

Последствия появления таких повреждений различны. Если обдиры коры в вершинной части ствола имеют тенденцию к зарастанию и затягиванию смолой у хвойных пород, то низовые и прикорневые об-

диры представляют существенную опасность для дальнейшего развития дерева, поскольку они наиболее подвержены развитию гнили. Следовательно, чем выше от земли повреждения по стволу, тем меньше их опасность.

Причинами возникновения отмеченных повреждений являются в первую очередь невнимательность оператора машины, трудное для обработки расположение подлежащего валке дерева, трудное расположение погружаемой пачки, узость транспортного коридора, его крутой поворот или уклон. В начале применения механизированной сортиментной заготовки несплошной леса доля поврежденных оставляемых в рост деревьев составляла 21%. По мере развития техники и роста квалификации операторов эта цифра составила 8-10%, а сегодня - 2-4% (данные по Швеции и Финляндии). Такие показатели повреждаемости возможны только при строгом соблюдении технологии работ при соответствующем контроле их качества и постоянном обучении операторов.

Повреждения корневых систем возникают главным образом в зоне технологического коридора (волока). Они обусловлены движением машин. Поскольку 70% корней находятся в верхнем гумусном слое, то колеса или гусеницы движущихся машин вызывают переломы, разрывы корней и обдиры их коры. Современные лесные машины имеют достаточно широкие шины или гусеницы и при правильной организации работ эти машины не нарезают глубокой колеи. Однако в весенне-летние месяцы, когда прочность корневой коры минимальна, возникает опасность ее обдира. Летом сопротивление корневой коры сдвигу равно для сосны 43 Н/см² в поперечном направлении и 57 Н/см² в продольном направлении (для ели соответственно 40 и 70 Н/см²). Осенью этот показатель возрастает для сосны до 65 Н/см² в поперечном и 115 Н/см² в продольном направлении, а для ели до 75 Н/см² и 125 Н/см² соответственно. При этом обдиры коры наблюдаются не только у поверхностно расположенных корней, но и у достаточно глубокозалегающих, особенно на песчаных и гравийных почвах за счет сдвига их абразивных частиц. Исследования показали, что избежать подобного повреждения корневых систем можно в том случае, если машина при площади контакта колеса с грунтом 40 см² не превысит тягового усилия на ободе колеса более чем 1,6-3,2 кН. Установлено, что если корни повреждаются в пределах 50 см от комлевой части дерева, то 39% деревьев с такими повреждениями через 10 лет имеют признаки наличия стволовой гнили. Особенно опасно в этом случае повреждение основных крупных корней (2 см в диаметре и более), т. к. они в первую очередь подвержены поражению корневой губкой. Наиболее склонны к повреждению и последующему инфицированию корни ели. При повреждении 15% площади корневой системы наблюдается снижение роста дерева на 10% по сравнению с неповрежденным. Если проходом машины вблизи ели повреждено 40% корней (т. е. машина прошла на расстоянии 30 см от ствола), то отрицательная редакция роста составляет уже 27%.

Число проходов машин (например, лесотранспортной машины - форвардера вслед за разовым про-

ходом лесозаготовительной машины - харвестера) также влияет на повреждаемость корневых систем. При этом зависимость уровня повреждаемости волока от числа проходов носит S-образный характер, резко возрастая на участке от 3 до 9 проходов. После дальнейшего увеличения числа проходов говорить о последствиях повреждений корней бессмысленно, т. к. они уже оказываются поврежденными в сильной степени.

Движение машин, помимо воздействия на корни деревьев, вызывает и изменение в лесной почве. Лесной почвенный покров бореальных лесов представляет в большинстве случаев минеральный слой (песок, супесь, суглинки или глина) с большим количеством камней и тонким гумусным слоем. Для поселения хвойных пород преобладающими являются подзолистые почвы, имеющие мало биогенных элементов. Подстилка бедная и содержит значительное количество лигнина. Хотя толщина ее может быть значительной, минерализация элементов подстилки слабая. На подзолистых песчаных почвах чаще всего формируются экосистемы чистых сосновых лесов, а на супесях и суглинках - еловые насаждения. Почвы влияют на интенсивность роста деревьев и качество древесины. Независимо от глубины стержневых крупных корней основная масса всасывающих корешков и корневых окончаний расположена в верхнем слое почвы, поскольку он обладает лучшими физическими свойствами, содержит основное питание и обеспечивает достаточный подвод кислорода к корешкам за счет наличия почвенных пор.

Если почва не уплотнена, то корневые ходы, трещины и другие внутрипочвенные полостные образования способствуют усиленному развитию корней и обеспечивают их прирост.

Распространенный на севере песчано-гравийный минеральный слой в обычном состоянии имеет плотность 0,95...1,20 г/см³. Он может значительно уплотняться под нагрузкой. При этом уплотнение почвы отрицательно влияет на развитие мелких корней деревьев, концентрация которых в гумусном слое 200-500 м/м². Мелкими являются корни, диаметр которых равен 10 мм и меньше. Количество таких корней составляет более 93% от всей корневой системы, а зона их распространения вокруг ствола достаточно обширна. Если у 20-летнего дерева радиус корневой системы равен в среднем 1,7 метра, то у 40-летнего дерева он составляет около 3 метров, а в 60 лет - уже более 4 метров.

Установлено, что статическое давление машины на почву более 80 кПа препятствует развитию мелких корней, а при давлении на почву 30-50 кПа их рост может быть затруднен. Давление на почву 90 кПа уменьшает прирост молодняков на 15% в течение 3-4 лет после воздействия.

Таким образом, очевидно, что проход машины вблизи растущего дерева, вызывающий под колесом давление на почву 60-90 кПа, приводит к снижению степени роста дерева из-за повреждения мелких корней. При этом, чем ближе машина проходит к дереву, тем количество уплотненных корешков выше. Следовательно, сдавливание почвы, так насыщенной разветвленной мелкой корневой системой, оказывается

крайне нежелательным. Вследствие уплотнения почвы уменьшается объем пор, из-за чего сильно меняется воздушно-водный режим, что также ухудшает физиологическое функционирование корневых систем растений, оказывает отрицательное влияние на водный баланс.

На влажных почвах машины, особенно при многократных проходах по волоку, могут нарезать глубокую колею. В ней застаивается вода, вызывая амелиорацию отдельных лесных участков.

Интенсивные лесозаготовки, проводимые с использованием мощной техники по хлыстовой технологии, могут вызвать длительные отрицательные воздействия на лесные почвы. Установлено, что на участках интенсивного использования лесных тракторов почва остается уплотненной в течение 16-40 лет. Замеры, проведенные через 16 лет после работы машин, показывают, что почва уплотнена на 9-18% больше, чем на неповрежденных участках.

Помимо уплотнения почвы, ее повреждения могут быть обусловлены буксованием машин, что вызывает срез верхнего слоя. Такие повреждения чаще всего встречаются при использовании машин с механическими трансмиссиями.

Анализ проблемы снижения негативного технологического влияния машин на лесную среду в процессе проведения лесозаготовок позволил нам выявить четыре основные группы факторов, определяющих степень такого воздействия:

- природно-климатические;
- организационные;
- технологические;
- конструктивные.

Первая группа факторов является *неуправляемой* и обусловлена природой. Сюда относятся климатические факторы (время года, температура воздуха, количество осадков и влажность почвы), параметры древостоя (размеры деревьев, их возраст, распределение по площади), рельеф местности и почвенно-грунтовые условия.

Анализ этой группы факторов позволяет сделать следующие выводы. Из-за поверхностного залегания корневой системы, особенно вблизи ствола, ель страдает от повреждений сильнее, чем сосна или береза, корни которых стремятся в глубь почвы.

В весенне-летний период, по сравнению с зимой, интенсивность повреждений как стволовой, так и корневой частей деревьев возрастает от 1.25 до 4 раз. Наиболее неблагоприятен в отношении повреждений период, когда начинается интенсивная циркуляция древесного сока. При этом в корнях сокодвижение начинается примерно на месяц позже, чем в стволе.

Степень воздействия машины на лесные почвы зависит и от типа почв, влажности, температуры. Так, глинистые почвы уплотняются сильнее, чем песчаные. Сопротивление срезанию также выше у глинистых почв. С ростом влажности почвы (весной и осенью) степень повреждаемости почв и корней возрастает.

Остальные три группы обусловлены человеческой деятельностью, притом последняя - деятельно-

стью проектировщика лесной техники. Следовательно, эти факторы являются *управляемыми*.

К *организационным факторам* относятся выбор участка леса, выбор времени года для проведения работ, выбор применяемой технологии и системы машин, форма и уровень оплаты труда рабочих, занятых на лесозаготовках, их квалификация, форма контроля проведения работ.

Правильный подбор лесного участка и качественное планирование лесозаготовительных работ, особенно по времени года и сезону, позволяют снизить повреждаемость почв и корневых систем деревьев. Так, в еловых лесах лесозаготовки по промежуточному пользованию можно проводить только в зимнее время. В других типах леса при проведении рубки леса волокни следует укреплять порубочными остатками. Это в значительной мере снижает уплотняемость почвы и повреждаемость корневых систем.

Важную роль в снижении уровня повреждаемости деревьев имеет квалификация оператора лесной машины (20% от общего числа повреждений ствола и 3% - корней), наличие постоянного контроля за его работой в этом направлении и соответствующая форма оплаты труда, учитывающая степень оставляемых повреждений. Так, в Финляндии оператор форвардера перед работами на рубках ухода проходит курс обучения 1330 часов, в том числе 150 часов уделяется совершенствованию навыков погрузки леса манипулятором. Для работы на харвестере требуется помимо указанного курса учебы пятилетний стаж работы на форвардере и 750-часовой дополнительный курс обучения валке и обработке леса харвестером.

К *технологическим факторам* относятся уровень проведения подготовительных работ, технологическая схема освоения лесосеки (рациональность схемы волоков, их извилистость, количество поворотов, ширина волоков и расстояние между ними).

При выполнении рубок ухода наибольшее количество почвенных, стволовых и корневых повреждений появляется вблизи технологического коридора и непосредственно на нем. Рационально спланированная система трелевочных волоков при рубках ухода может уменьшить уплотняемую площадь почти на 2/3 без снижения продуктивности.

Ширина волоков должна быть 3 - 4 метра. Магистральные волокни могут быть увеличены до 5 метров. Площадь лесных складов и погрузочных площадок должна быть минимальна (0,2 - 0,3 га). Основным технологическим элементом является пасека. Ее размер определяется расстоянием между соседними волоками (технологическими коридорами). В зависимости от ширины пазов различают узкопазечные (10 - 20 метров), среднепазечные (30 - 50 метров) и широкопазечные (более 50 метров) схемы освоения лесосек на промежуточных рубках. Некоторые технологические схемы при большой ширине пазов допускают вход машины на пасеку, что может привести к негативному воздействию на оставляемый древостой и почвы. Другие технологические схемы исключают возможность захода машины на пасеку и разрешают ее движение только по технологическим коридорам. Сеть технологических коридоров должна разрабатываться с учетом рельефа лесного участка, наличия

непреодолимых препятствий и почвенно-грунтовых условий. Предпочтение отдается прямым коридорам с расположением оси север-юг. Это обеспечивает лучшее прогревание почвы и стимулирует жизнедеятельность растений. При планировании сети волоков должна учитываться необходимость предупреждения водной эрозии.

Планируя сеть волоков, следует учитывать, что среднепосечная и широкопосечная системы ведут к росту интенсивности движения машин по волокам, снижают возможности применения полностью механизированных способов заготовки леса. Следовательно, с точки зрения повреждаемости насаждений тенденция к строительству технологических коридоров на меньшем расстоянии друг от друга может быть благоприятной, тем более что точность работы манипулятора на меньшем расстоянии выше.

Конструктивные факторы включают тип машин, их основные размеры, массу и развесовку по осям, тип движителя (для колесных машин - колесную формулу и размеры колес, для гусеничных - тип гусеницы и ее размеры, расположение ведущей звездочки), тип трансмиссии, компоновку и параметры технологического оборудования, тип и уровень надежности гидросистемы, эргономические показатели (обзорность, удобство работы оператора, уровень шума и вибрации), характеристики двигателя (в том числе степень токсичности отработанных газов).

Однозначно установлено, что более легкие, малогабаритные машины наносят меньший вред окружающей среде при работе в лесу. Главной проблемой при их применении является обеспечение необходимой грузоподъемности манипуляторного оборудования при удовлетворении требования устойчивости против опрокидывания.

Что касается трансмиссии, то на большинстве зарубежных машин она гидромеханическая или гидростатическая. Такой тип трансмиссии снижает буксование, обеспечивает плавность начала движения машины с места и, следовательно, уменьшает отрицательное воздействие на лесные почвы.

Компоновка машины должна быть выполнена таким образом, чтобы нагрузки на все колеса или опорные катки распределялись равномерно. Для машин с шарнирно-сочлененной рамой желательным является обеспечение требования равенства расстояний от центрального шарнира до оси передних и задних колес. В этом случае при поворотах в лесу задние колеса движутся по более передним: меньшая площадь подвергается уплотнению, снижается вероятность повреждения стволов, стоящих на границе с волоком.

Важным вопросом проектирования и эксплуатации лесной машины является выбор типа движителя. Подавляющее большинство отечественных машин имеют гусеничные движители со стальными гусеничными лентами. Зарубежные машины, наоборот, в большинстве базируются на колесных шасси. Исключения составляют мощные валочно-пакетирующие машины экскаваторного типа, имеющие гусеничный движитель, и некоторые легкие харвестеры и форвардеры, предназначенные для работы на влажных грунтах.

Проведенные нами сравнительные испытания колесных и гусеничных машин эквивалентной массы показали, что у тех и у других машин глубина колеи увеличивалась с увеличением числа проходов. На сухих песчаных и супесчаных почвах воздействие на глубинные слои почвы (20-50 см) оказалось практически идентичным. А вот верхние слои быстрее разрушались гусеничной машиной, в то время как колесная только уплотняла их.

На влажных почвах обе машины нарезали глубокую колею. Кроме того гусеничная машина при поворотах сдирала верхний гумусный слой.

Ряд современных исследований доказывает экологические преимущества гусеничных машин с резиновыми траками. Они меньше уплотняют почву. Так, замеры, проведенные с использованием пенитрометра (плотномера), показали, что после прохода машин с двумя типами гусениц показания пенитрометра на глубине 20 см для колеи под стальным траком возросли на 22,3% по сравнению с контрольным участком. Для резинового трака этот показатель был 20%. На глубине 10 см показания были 150 и 120 % соответственно. Плотность почв после прохода машин возросла. Под стальным траком этот рост составил от 0,24% до 15,4% для всех проведенных опытов, а для резинового трака - от 0,24% до 9,8%. Применение машин с резиновыми траками сдерживается их меньшей надежностью и более высокой ценой.

В последние годы повышенное внимание уделяется разработке качественно новых типов движителей для лесных машин. Это в первую очередь шагающие машины. Первая лесная машина такого типа была разработана компанией Timberjack в при содействии фирмы Plustech и прошла успешные испытания ещё в 1995 году.

С экологической точки зрения наиболее важными являются следующие преимущества шагающих машин по сравнению с колесными и гусеничными:

- отсутствует буксование;
- уплотнение почвы происходит не по всей трассе движения машины, а пятнами;
- не происходит сдирание почвы грунтозацепами, поскольку "нога" опускается и поднимается над грунтом при каждом шаге;
- машина может двигаться в любом направлении, при поворотах не происходит срезание грунта.

Кроме того, шагающая машина обладает большим клиренсом (изменяется от 20 до 120 см), не создает сопротивления качению, может преодолевать любые препятствия в лесу, обладает высокой устойчивостью против опрокидывания. Единственным недостатком таких машин является малая скорость передвижения.

Важным фактором снижения повреждаемости лесной среды является и эргономический фактор – удобство работы человека-оператора и снижение его утомляемости. Усталость оператора, снижение внимания приводят к возрастанию числа наносимых повреждений. Поэтому удобству сидения, комфорту кабины, обзорности, легкости управления технологическим оборудованием должно уделяться большое внимание.

Работа представлена на III научную конференцию с международным участием «Природопользование и охрана окружающей среды», 1-8 октября 2005г. Лутраки (Греция). Поступила в редакцию 21.09.2005г.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ДОЗ ФОСФОГИПСА НА СОЛОНЦАХ ПО ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ И РАДИОНУКЛИДАМ

Хусаинов А.Т., Сарсенова А. А.

Кокшетауский университет,

Кокшетау, Казахстан

Площадь солонцов и засоленных почв в Западной Сибири РФ составляет 9 млн. га, Казахстане 94 млн. га. В естественном состоянии продуктивность их низкая и не превышает в степной зоне 2-4 и лесостепной зоне 3-5 ц/га сена.

Многолетние наши исследования и результаты внедрения (1972-2005 гг.) показали, что продуктивность солонцов при их коренном улучшении, тем более мелиорации повышается в 3-5 раз и более. Необходимо только применять научно обоснованные приемы и методы мелиорации солонцов, соответствующие их агромелиоративным свойствам и биоклиматическим условиям конкретной зоны.

Классическим методом мелиорации солонцов является гипсование. Но в настоящее время как основной мелиорант солонцовых почв Западной Сибири и Северного Казахстана применяется фосфогипс.

Фосфогипс, наряду с мелиорирующим веществом – гипсом, как отход промышленности, имеет ряд балластных и токсичных примесей. К ним относятся свинец, медь, цинк и др. Поэтому применение фосфогипса требует экологической регламентации по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов.

В 2005 г нами разработан проект «Мелиорация бросовых солонцовых земель Северного Казахстана путем утилизации отходов промышленности – фосфогипса». Он реализуется в ТОО «Енбек» Аккольского района Акмолинской области на площади 200 га при финансовой поддержке Программы Малых Грантов Глобального Экологического Фонда в рамках Программы Развития Организации Объединенных Наций в Казахстане.

Целью наших исследований явились: провести экологическое нормирование применения фосфогипса из хвостохранилищ бывшего Целинного гидрометаллургического завода для мелиорации солонцов по тяжелым металлам и радионуклидам.

В задачу исследований входили: регламентация доз внесения фосфогипса по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов в почве и растениях донника.

Количество тяжелых металлов в фосфогипсе варьирует в значительных пределах, и зависит от завода – производителя и от его происхождения.

В состав фосфогипса из фосфоритной муки Караульского месторождения входят: CaO 33,5%, SO₃ 49,0%, P₂O₅ 0,4-1,6%, R₂O₃ 0,4%, F 0,3%, Sr 0,13%, нерастворимый остаток 15%.

Исследовали образцы фосфогипса, почвы и растений на содержание тяжелых металлов путем прове-

дения количественного химического анализа методом инверсионной вольтамперометрии.

Результаты лабораторных анализов показали экологическую безопасность применения исследуемого фосфогипса. Эффективная удельная активность естественных радионуклидов в фосфогипсе составила 12,4 Бк/кг. Это ниже уровня (ПДК – 4000 Бк/кг) в 356 раз. Содержание свинца составило 16,5; меди 15,2 и цинка 3,9 при значениях ПДК, соответственно, 130, 132 и 220 мг/кг.

В 2003 г нами заложен солонцовый стационар Кокшетауского государственного университета им. Ш. Уалиханова. Почва участка – солонец лугово-степной мелкий со средним содержанием обменного натрия. Уровень радиации здесь составил: в горизонте А (0-7см) 532 и в солонцовом горизонте В₁ (7-17см) 496 Бк/кг. Установили относительно высокое содержание тяжелых металлов в почве: в горизонте А – свинца 0,463 мг/кг, меди 10,075 и цинка 2,592 мг/кг; в горизонте В₁ – свинца 0,197 мг/кг, меди 7,311 и цинка 2,003 мг/кг; в пахотном горизонте (А+В₁) – свинца 0,66 мг/кг, меди 17,39 и цинка 4,60 мг/кг. Что ниже предельно допустимых концентраций, соответственно, в 197, 8 и 48 раз.

То есть, содержание тяжелых металлов находилось в пределах естественного фона, что характеризует почвы как слабозагрязненные. Это позволяет получать на солонцах экологически чистую в отношении этих показателей сельскохозяйственную продукцию.

В случае применения фосфогипса на солонцах с одной тонной мелиоранта в почву дополнительно внесются: свинца 0,66 г, меди 17,4 г и цинка 4,6 г. Абсолютно допустимая доза внесения фосфогипса (без учета содержания ТМ в почве) по минимальному значению ПДК – по меди составит 95,6 т/га. А полная расчетная норма внесения фосфогипса на мелиорируемый 30 см слой почвы в нашем опыте составила 15 т/га. По содержанию тяжелых металлов это вполне укладывается в экологический регламент.

Исследование миграции тяжелых металлов и радионуклидов в почве и растениях донника нами проводилось в вегетационном опыте, заложенном по следующей схеме: 1) контроль (без фосфогипса); 2) фосфогипс (1/4 нормы); 3) фосфогипс (1/2 нормы); фосфогипс (3/4 нормы); фосфогипс (норма). Повторность опыта трехкратная. Сосуды набивались почвой без нарушения естественного расположения генетических горизонтов. 10% расчетной нормы фосфогипса вносили в горизонт А, 90% – непосредственно в солонцовый горизонт В₁. Полная доза фосфогипса рассчитывалась по обменно-поглощенному натрию на слой 0 – 30 см и составила 20 т/га.

Исходное содержание меди в почве на контроле – без мелиоранта составило 10,1 мг/кг. С увеличением дозы фосфогипса от 5 до 20 т. количество меди возросло от 10,5 до 14,0 мг/кг, при значении ПДК 100 мг/кг. Установили тесную корреляционную связь между дозой внесения фосфогипса и содержанием меди в почве ($r = 0,87$).

Подобная закономерность наблюдалась по содержанию свинца и цинка. На контроле их содержание составило 0,53 и 0 мг/кг. С увеличением дозы фосфогипса от 5 до 20 т/га содержание свинца и цин-