

УДК 502.5/.8(571.62)

## **ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ЮГА ХАБАРОВСКОГО КРАЯ**

Матвеевко Т.И., – доцент

*Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск*

Цель исследования изучение содержания радионуклидов в почвах юга Хабаровского края. Установлено, что поступление и накопление радионуклидов в почвенном покрове связано с глобальными выпадениями и выбросами ТЭЦ. По многолетним экспериментам исследования выявлено большее накопление стронция и цезия в луговой бурой почве по отношению к другим типам в различные годы.

The purpose of research is studying of accumulation of radioactive substances in soils of the south of Khabarovsk region. It is shown, that receipt and accumulation of radioactive substances in a soil cover is connected with global losses and emissions of thermal power stations. It is revealed, that strontium and cesium more accumulate in meadow brown soil in relation to other kinds of soils in various years.

### **1. Актуальность**

В связи с интенсивным воздействием промышленного производства на объекты природной среды, негативные последствия их антропогенного загрязнения уже проявляются не только на региональном, но и на глобальном фоновом уровнях. В процессе техногенеза увеличивается содержание в биосфере долгоживущих радионуклидов искусственного и естественного происхождения, тяжелых металлов, изменяется радиационный фон. Загрязняющие вещества легко вовлекаются в экосистемные миграционные циклы, накапливаясь в почве, растениях и сельскохозяйственной продукции [1].

Увеличение нагрузки на окружающую среду (ОС) в результате человеческой деятельности, способствует появлению на территории России, в т.ч. Дальнего Востока, зон с критической экологической ситуацией. Техногенное воздействие, в частности газопылевые промышленные выбросы, распространяется в зависимости от климатических факторов и свойств загрязняющих веществ. Наибольшему

их загрязнению подвергаются аккумулятивные горизонты почв сельскохозяйственных территорий [2].

По данным радиологического мониторинга, радиационная обстановка на сельхозугодьях России характеризуется содержанием стронция-90 от 5,2 до 9,8 Бк/кг, и цезия-137 от 13,8 до 2,0 Бк/кг, что соответствует плотности загрязнения по стронцию-90  $0,04 \text{ Ки/км}^2$  и по цезию-137  $0,11 \text{ Ки/км}^2$ . Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на уровне одного метра над поверхностью почвы колеблется в пределах 4–35 мкР/час. Минимальное ее значение выявлено во Владимирской области, а максимальное - в Рязанской области (ФГУ САС "Подвязьевская"). Исследования отечественных и зарубежных авторов свидетельствуют о том, что гамма фон на высоте 1 м над поверхностью почвы в заповедных районах составляет менее 20 мкР/час, его увеличение свидетельствует о загрязнении почв радионуклидами. Среднее содержание стронция-90 в почвах реперных участков субъектов Российской Федерации колеблется в пределах от 1,0 до 39,8 Бк/кг, что составляет в среднем по России 5,2 Бк/кг. На территории, обслуживаемой 17 центрами и станциями агрохимической службы обнаружены участки, в почвах которых содержание стронция-90 выше среднего: Карельский, Ивановская, Костромская, Удмуртский, Томская, Приморский, Подвязьевская, Мордовская, Оренбургский, Свердловский, Алтайский, Ставропольский, Волгоградский [3].

В свою очередь загрязнение способствует росту числа заболеваний населения, вызванному неблагоприятной экологической обстановкой. Эти проблемы требуют осуществления комплексного контроля состояния окружающей природной среды, проведения исследований, которые позволяют не только выявить и оценить опасность уровней загрязнения, но и установить тенденции, а также скорость происходящих изменений [4].

В настоящее время одной из наиболее важных проблем современности являются радиоэкологические исследования, которые

необходимы для разработки мероприятий по охране природной среды от загрязнения радионуклидами. Особую актуальность они приобретают в восточных регионах России, в том числе и на Дальнем Востоке, т. к. по этому району практически нет сведений о содержании радионуклидов в объектах окружающей среды.

В связи с этим целью данной работы явилось выявление содержания и изучение динамики накопления радионуклидов искусственного и естественного происхождения ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) в почвах сельскохозяйственных угодий юга Хабаровского края. Исходя из цели исследования, сформулированы следующие задачи:

- изучить особенности распределения радионуклидов в почве;
- оценить степень загрязнения сельскохозяйственных угодий радионуклидами ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ );
- сравнить полученные результаты исследований с общероссийскими показателями.

Объектом исследования явились почвы сельскохозяйственных угодий разного назначения (пашня, пастбища, многолетние насаждения), функционирующие в зоне влияния топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Предмет исследования – структура связей между организмами и средой, а также источником загрязнения агроэкосистем.

## **2. Состояние вопроса**

### **2.1 Источники возможного поступления радионуклидов в почву**

Поступление и накопление радионуклидов в почвенно-растительном покрове главным образом связывается с глобальными выпадениями, которые происходят в результате испытания ядерного оружия, деятельности предприятий по добыче, переработке минерального сырья и ископаемого топлива, выбросов АЭС. Применение в земледелии фосфорных удобрений, с повышенным содержанием естественных

радионуклидов, также может привести к увеличению природного радиационного фона [5].

Не маловажную роль в загрязнении окружающей природной среды играют тепловые электростанции (ТЭЦ). Они являются одним из наиболее распространённых типов производств, по использованию ископаемых углей. При сжигании угля происходит концентрирование микроэлементов, в том числе и радионуклидов, в продуктах сгорания. В углях Дальнего Востока концентрация естественных радионуклидов значительно выше по сравнению с мировыми данными. В зависимости от характера месторождения содержание  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  в золе увеличивается при сопоставлении с углем от 2 до 8 раз, а  $^{232}\text{Th}$  – от 3 до 8 раз. В шлаковых отходах УА  $^{40}\text{K}$  возрастает от 2 до 7 раз,  $^{232}\text{Th}$  от 3 до 9 раз, а  $^{226}\text{Ra}$  – от 3 до 8 раз. Кроме того,  $^{232}\text{Th}$  значительно накапливается в летучей золе, а  $^{226}\text{Ra}$  – в шлаке.

Попадая в окружающую природную среду радионуклиды активно вовлекаются в круговорот веществ, несомненно, накапливаясь в ее компонентах. Они становятся неотъемлемым звеном пищевых цепей и играют существенную роль в функционировании экосистем, в т.ч. почвы и растительности [6].

Являясь неотъемлемой частью любого наземного биоценоза и биосферы в целом, почвенный покров выполняет ряд экологических функций, в том числе глобальные биосферные и экосистемные (биогеоценотические), которые обеспечивают стабильность биосферы и саму возможность существования жизни на Земле. Однако в процессе техногенеза, почва аккумулирует и долго сохраняет загрязняющие вещества (поллютанты), являясь основным критерием состояния земель. Она представляет собой небольшой, очень уязвимый, биопродуктивный слой, в случае разрушения которого продуктивная функция почвы оказывается нарушенной полностью или на длительный период [7].

Установлено, что взаимодействие техногенного вещества с органоминеральной массой почвы ведет к изменению количества и качества гумуса, реакции среды и состава обменных катионов [8]. Загрязненный тяжелыми металлами и другими токсикантами почвенный покров не способен полноценно выполнять свои экологические функции и, прежде всего, общие биосферные и сельскохозяйственные, что создает угрозу экологической и продовольственной безопасности человечества [9].

Потребность в информации о миграции радионуклидов в разных климатических условиях и природных средах на фоновом уровне резко возросла после аварии на ЧАЭС в 1986 году. В результате аварии произошел огромный выброс радионуклидов в биосферу. Продукты ядерного топлива распространились на большие территории. В умеренной зоне Северного полушария, приблизительно между 50 и 60° с. ш. выпало значительно больше радиоактивных осадков после аварии на ЧАЭС и испытаний ядерного оружия в начале 60-х гг., чем на других широтах. Сложившаяся ситуация стимулировала расширение работ по исследованию глобального загрязнения биосферы и обобщению научных трудов по радиоэкологии, а также введению в действие новых нормативных документов [10].

## **2.2. Своеобразие почвенно-климатических особенностей Дальневосточного региона**

Регион исследований принадлежит к одной почвенно-биоклиматической области, что определяет общие закономерности природных условий, связанные с температурными факторами, условиями увлажнения и континентальности. Своеобразные природные условия привели к формированию лесной таежно-широколиственной почвенно-климатической зоны.

Территория сельскохозяйственного освоения юга Дальнего Востока представляет собой уникальный комплекс и обусловлена в значительной

мере климатическими особенностями зоны, а также своеобразием ландшафта. Климат юга Хабаровского края – муссонно-континентальный. Погоду определяет континентальный воздух умеренных широт, который составляет 75 % дней в году. Для территории юга Хабаровского края обычны жаркое лето и не соответствующая широтному положению холодная зима, также свойственно преобладание ветров юго-западного направлений (55% дней в году). На долю ветров северо-восточного направления приходится до 20 % дней в году. Оптимальные значения относительной влажности для нормальной жизнедеятельности людей – от 30 до 60 %. Территория исследуемого района характеризуется очень высокими показателями влажности в летний период (как правило, выше 60 %, а в июле-августе и более 80%) [11].

Большинство почв, встречающихся на территории края, изучено недостаточно. До настоящего времени нет ясного представления о направлении процессов почвообразования, протекающих в разных экологических условиях, остаются дискуссионными многие вопросы генезиса почв, существуют разные мнения в отношении их номенклатуры и классификации, отсутствуют материалы по возможной эволюции почв в результате хозяйственной деятельности человека. Устранение этих недостатков позволило бы частично решить проблему рационального использования и охраны земельных ресурсов в крае [12].

Природная экосистема может быть устойчива только при обеспечении максимального биоразнообразия. Агробиоценозы имеют определенный потенциал устойчивости, самоочищения и самовосстановления. При нарушении оптимального соотношения между антропогенной нагрузкой и свойствами агробиоценоза, происходят негативные изменения, как в агробиоценозах, так и в окружающей среде. Потенциал устойчивости биоценоза зависит от его способности поддерживать нормальное состояние. Дальневосточный регион отнесен к

территории с низкими процессами самоочищения природных систем от продуктов техногенеза [13].

Сельскохозяйственная экологическая система представляет природный комплекс, преобразованный сельскохозяйственной деятельностью человека. Агробиоценоз характеризуется как неустойчивая биологическая система с искусственно созданными или обедненными видами естественного биотического сообщества, которое дает сельскохозяйственную продукцию [14].

Многолетнее применение минеральных удобрений и химических средств защиты растений усиливает техногенный пресс на агробиоценозы, ведет к загрязнению почв сельскохозяйственных угодий и объектов ОС тяжелыми металлами и пестицидами. В регионе уже превышен уровень экологически допустимого воздействия на почву, в связи с этим существует реальная угроза их истощения и загрязнения. Система применения средств химической защиты растений не адаптирована для почвенно-климатических условий Дальнего Востока. Использование гербицидов в дозах, рекомендуемых для южных регионов России, неприемлемо для Приамурья. Низкий биоклиматический потенциал не способствует быстрой и полной детоксикации препаратов в почве. В результате почва, продукция растениеводства, корма оказываются загрязненными токсичными остатками. Происходит миграция экотоксикантов в агроэкосистеме по схеме почва – растения – корма – животные. В то же время, показатели пестицидной нагрузки в Приамурье на пашне превышают средний показатель по России. В течение 30 лет она составляла от 2,5 до 4,7 кг/га [15]. Многолетнее использование химических средств защиты растений, минеральных удобрений, химических мелиорантов приводит к изменению содержания химических элементов в объектах ОС. Глобальная химизация является одной из причин нарушения круговорота основных элементов. С одной стороны, при применении

средств химизации происходит механическое перемещение химических элементов, и создаются своего рода геохимические аномалии, например, накопление в почвах тяжелых металлов, ртути в концентрациях, превышающих фоновые в несколько раз. С другой стороны, если исходить из замкнутости круговоротов химических элементов, синтез соединений, не существующих в природе, способствует количественному сдвигу в гармонично отлаженных круговоротах атомов химических элементов. Только системный подход к изучению, конструированию и использованию агроэкосистем, приближение устройств техногенных экосистем, агробиоценозов к природным биоценозам может обеспечить адаптивность в сельскохозяйственном производстве и охрану ОС [15].

Исследование структуры почвенного покрова, как целостной и генетически взаимосвязанной, обладающей мерой неоднородности, контрастности и сложности почвенных компонентов позволяет утверждать, что основными критериями почвенно-экологической устойчивости Дальневосточного региона являются: а) векторные поля влажности, определяющие скорости геохимических процессов в почвенном профиле; б) внутрипочвенный температурный режим. Их соотношение и вариабельность во времени определяет степень устойчивости и процессы саморегуляции почвенно-экологических систем [16].

Характерной особенностью юга Дальнего Востока является контрастность климатических показателей между суровой малоснежной зимой, жарким летом и затяжной, прохладной весной, а также сочетанием муссонных дождей в летне-осенний период с пыльными бурями. Все эти факторы оказывают влияние на режим и характер формирующихся, на этой территории, почв. В зимний период происходит глубокое промерзание почв, а в весенне-раннелетний период сильное иссушение. Летне-осенний период характеризуется переувлажнением почв. Следует

отметить, что буроземообразование здесь сочетается с криогенными и глеевыми процессами.

В связи с выше изложенным климат исследуемой территории характеризуется ограниченными тепловыми ресурсами, неравномерностью выпадения муссонных осадков во второй половине лета, и как следствие, частым переувлажнением почв [12].

Основной пахотный фонд представлен бурыми лесными, лугово-бурыми, луговыми глеевыми почвами и различными их разновидностями. Почвы Приамурья не имеют аналогов в мире, они отличаются глубоким и длительным сезонным промерзанием, низкими запасами гумуса и элементов питания, 90 % почв являются кислыми, а 70 % из них относятся к сильно кислым, требующим известкования [15].

Зональным типом почв являются бурые лесные и их модификации в зависимости от механического состава субстрата и степени увлажнения. Бурые лесные почвы (типичные) характеризуются в большинстве случаев слабокислой реакцией среды, насыщенностью почвенного поглощающего комплекса, высоким содержанием гумуса в верхнем горизонте и резким уменьшением его с глубиной. Но наряду с такими почвами встречаются и сильнокислые бурые лесные почвы, ненасыщенные основаниями, обедненные гумусом. Среди других почвенных разностей наиболее часто встречаются лугово-бурые и луговые глеевые почвы. Отрицательным свойством этих почв является переувлажнение во время летне-осенних дождей. Поэтому для сельскохозяйственного использования почв необходимо проведение мелиорации.

Наряду с почвами, имеющими слабо дифференцированный профиль, на равнинных территориях, которые сложены тяжелыми породами (глинами), формируются почвы с резко дифференцированным профилем. В таком профиле отчетливо обособлен белесый горизонт, который, как

правило, содержит большое количество железисто-марганцевых конкреций. На обширных плоских низких террасах распространены различные луговые глеевые почвы [17]. Выявлены следующие закономерности:

– на вершинах и склонах сопок, а также рёлках, в условиях хорошего дренажа, формируются автоморфные бурые лесные и подзолисто-бурые лесные почвы;

– ниже по рельефу на пологих склонах и верхних частях шлейфов сопок, на вершинах и склонах увалов распространены полугидроморфные подзолисто-бурые лесные глееватые почвы;

– лугово-глеевые гидроморфные почвы приурочены к межувальным и межсочным понижениям, долинам ручьёв, пониженным равнинам;

– на повышенных участках поймы (грядах и гребнях) формируются аллювиально-дерновые почвы;

– аллювиально-луговые почвы занимают слабо пониженные участки поймы;

– в низкой пойме и логах развиваются аллювиально-болотные почвы.

Для южной части Дальнего Востока в настоящее время одной из важнейших проблем современного почвоведения является всесторонняя оценка деградации почв под воздействием техногенеза [18].

В результате отрицательного баланса питательных веществ, в земледелии снижается плодородие (содержание гумуса) пахотных земель. Анализ содержания в почвах края гумуса, определяющего уровень потенциального плодородия, показывает, что в последние годы наблюдается значительное уменьшение его запасов в корнеобитаемом слое. По данным агрохимического центра "Хабаровский", площадь пашни с низким содержанием гумуса составляет 78,6 тыс. га или 65,4% от общей ее площади

В крае значительно сократились работы по известкованию кислых почв, что сказалось на увеличении кислотности пахотных земель. Обеспеченность почв с/хозяйственных угодий подвижными формами фосфора остается также очень низкой. Почвы с очень низким и средним содержанием подвижного фосфора составляют 62.9% от общей площади с/хозяйственных угодий, в том числе 2/3 почв пашни. Почвы сенокосов и пастбищ на 95.0% очень слабо обеспечены доступными формами фосфора. По механическому составу почти все почвы края средне или тяжелосуглинистые, поэтому достаточно хорошо обеспечены калием. Однако, в связи с тем, что в последние годы калийные удобрения практически не применяются, площадь пашни с очень низким и низким обеспечением калием составляет более 26,8%. На малопродуктивных почвах края невозможно вырастить хорошие урожаи практически всех культур без применения органических и минеральных удобрений. Своеобразные почвенно–климатические особенности региона способствуют накоплению загрязнителей в продуктивном слое почвенного покрова [19].

### **3. Методика исследования**

Изучение содержания радионуклидов в почвах и растительности проводилось на контрольных участках, которые расположены в основных сельскохозяйственных районах края (Хабаровском, имени Лазо, Вяземском, Бикинском), в течение 1979-2005 гг. Их закладка осуществлялась с учетом почвенно-климатических условий, направления преобладающих ветров, типичности возделываемых культур и особенностей их агротехники, расположения вблизи потенциальных источников загрязнения. В основном участки находятся на пахотных землях, культурных пастбищах и многолетних насаждениях [20]. Контрольный участок отражает преобладающий в районе почвенный покров, историю землепользования, интенсивность и характер

применения средств химизации, органических удобрений и проведение мелиоративных мероприятий. Эти участки закреплены на местности, их географические координаты зарегистрированы в паспорте и используются для составления различных карт и картограмм.

Контрольные площадки, в основном, имеют форму квадрата площадью один гектар (100 на 100 метров). На каждом из них закладывался основной полно профильный разрез с подробным морфологическим анализом почвенного профиля и отбором почвенных образцов по генетическим горизонтам.

На мониторинговых участках смешанные почвенные образцы из пахотного и подпахотного горизонтов отбирались методом конверта. Их вес для радиохимического и гамма, бета спектрометрического анализов составлял 1,5–2,0 кг. В почвенных пробах также определялись показатели, которые характеризуют агрохимические свойства почвы. Отбор смешанных проб растений проводился в фазу технической спелости с тех же площадок. Вес растительного образца для проведения радиохимического и гамма, бета спектрометрического анализов радионуклидов составлял 2 кг для зерновых, зернобобовых и трав; 5–8 кг – для пропашных, овощных и плодовых культур.

В работе использовались методы анализа, обобщение и систематизация литературных и собственных данных.

Радиологическое обследование проводилось путем замера гамма фона и отбора почвенных и растительных проб согласно методическим указаниям комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий [21].

Исследовались почвенные и растительные образцы. Пробы к анализу готовились согласно "Методике выполнения гамма спектрометрических измерений активности радионуклидов в пробах почвы и растительных материалов". Для радиологических исследований использовался

универсальный комплекс "Гамма Плюс". В объектах исследования определялось содержание  $Cs^{137}$  и  $Sr^{90}$ . Измерение  $Cs^{137}$  проводилось гамма спектрометрической установкой "ГАММА–ПЛЮС". Для определения  $Sr^{90}$  применялся оксалатный радиохимический метод с последующим радиометрическим измерением сконцентрированных проб.

Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения почв изучалась с помощью сцинтилляционного геологоразведочного прибора СРП-68-01, который в соответствии с техническим описанием подлежит обязательной государственной поверке точности. Измерения проводились в пределах контрольного участка, на высоте 1 метра от поверхности почвы.

Агрохимический анализ почвенных и растительных образцов осуществлялся стандартными методами, общепринятыми в агрохимической службе России [22, 23].

Результаты исследования обрабатывались статистически с использованием компьютерных программ.

#### **4. Обсуждение результатов**

Предприятиями г. Хабаровска за 2004 год в атмосферу было выброшено 377,529 тыс. т/год загрязняющих веществ. Из специфических веществ поступило 63,622 тыс. т/год. На их долю приходится 26,697 тыс. т/год, от общего объема выбросов. Хабаровск отнесен к списку городов России с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха [24].

Радиационный фон на территории юга Хабаровского края обусловлен ионизирующим излучением от естественных и искусственных радионуклидов. Среднее значение мощности эквивалентной дозы в населенных пунктах Хабаровского края характеризуется 0,15 мкЗв/ч, что находится на уровне среднегодовых значений.

По материалам краевого центра государственного санитарно-эпидемиологического контроля (КЦ ГСЭН), плотность радиоактивных выпадений из атмосферы на поверхность почвы составляет 0,02–0,03 мКи/

км<sup>2</sup>. Гамма фон на исследованных сельскохозяйственных угодьях Хабаровского края колеблется в пределах от 9 до 13 мкр./час. Такие данные не превышают предельно-допустимый показатель относительно удовлетворительной ситуации, который равен 20 мкр./час.

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что наибольшая удельная активность (УА) цезия-137 в почвах (рисунок 1) отмечается в горизонте 0–20 см и составляет: в лугово-бурой 7,8 Бк/кг; бурой лесной и луговой глеевой – 5,9 Бк/кг соответственно. Во всех исследованных типах почв прослеживается плавное уменьшение концентрации элемента вниз по почвенному профилю.

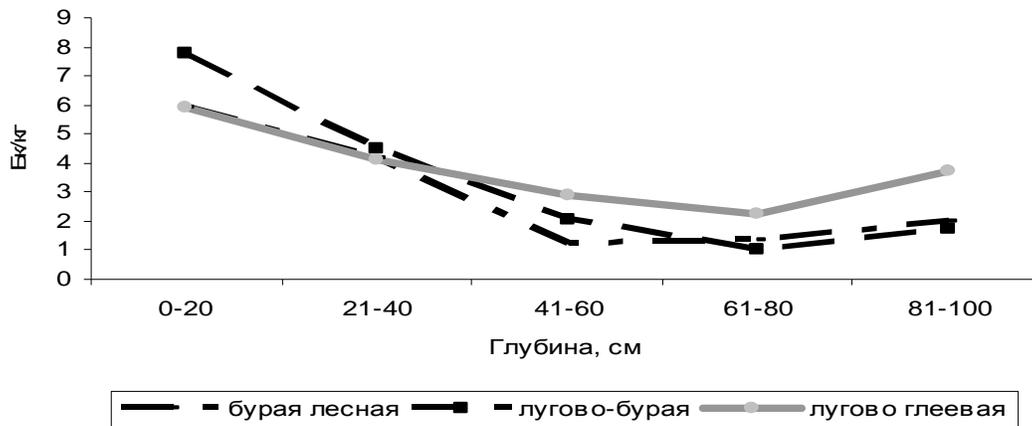


Рис. 1 Содержание цезия-137 в почвах по горизонтам

Удельная активность стронция-90 в почвах (рисунок 2) варьирует от 7,1 Бк/кг (бурая лесная) до 8,1 Бк/кг (лугово-бурая). Из диаграммы видно, что основная масса радионуклида задерживается в верхнем горизонте.

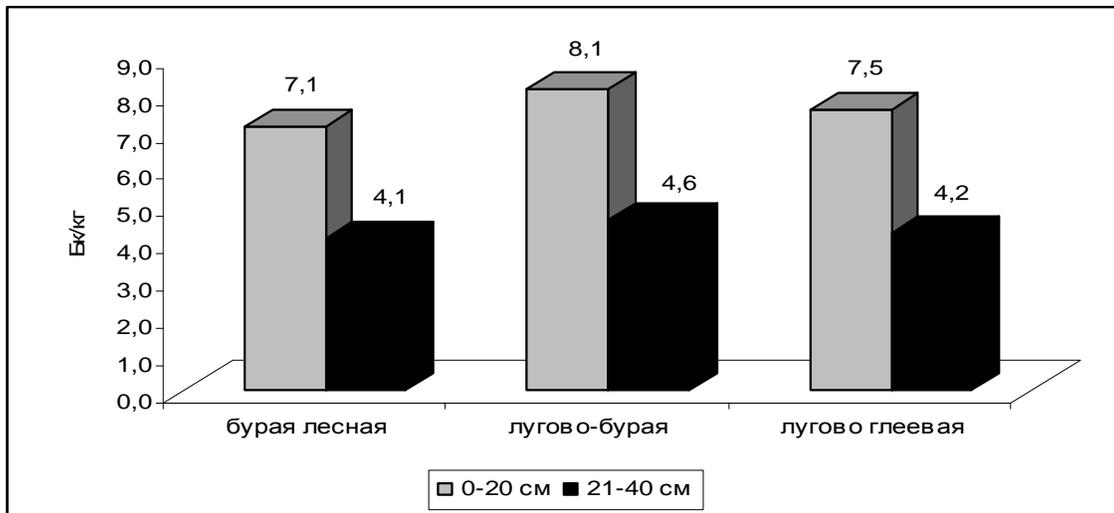


Рис. 2 Количество стронция-90 в почвах по горизонтам

Калий-40 присутствует в природных биогеоценозах и как примесь вносится с удобрениями. Его миграция в почвенном профиле представлена на рисунке 3. По результатам исследования, наибольшая УА горизонта 0-20 см отмечается в бурой лесной (337,5 Бк/кг) и лугово-бурой (300,1 Бк/кг) почвах, наименьшая – в луговой глеевой (189,7 Бк/кг).

Отмечается увеличение концентрации в горизонте 41–60 луговой глеевой почвы, связанное с периодическим переувлажнением и тяжёлым механическим составом.

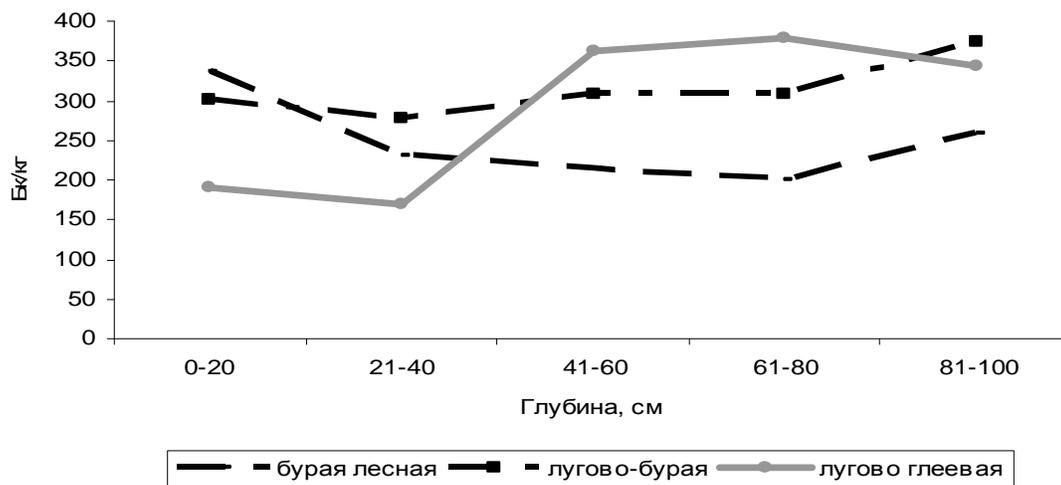


Рис. 3 Содержание калия-40 в почвах по горизонтам

Наибольшая УА радия-226 (рисунок 4) прослеживается в горизонте (0–20 см) лугово-бурой (15,1 Бк/кг) и бурой лесной (11,3 Бк/кг) почвах, наименьшая – луговой глеевой (8,6 Бк/кг). Установлено неоднородное распределение элемента по почвенному профилю.

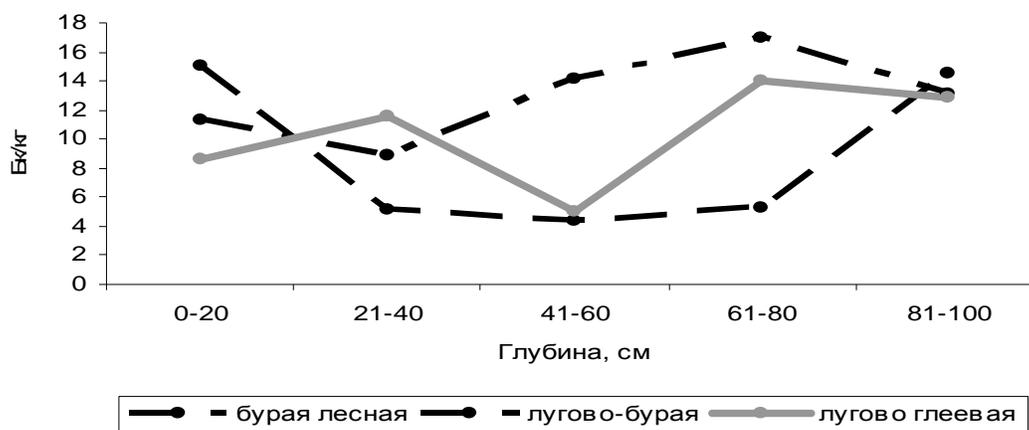


Рис. 4 Количество радия-226 в почвах по горизонтам

Содержание тория-232 в почвах изображено на рисунке 5. Выявлена наименьшая его концентрация в горизонте 0–20 см луговой глеевой почвы (19,5 Бк/кг). Прослеживается накопление тория-232 в слое 0–20 см лугово-бурой (30,6 Бк/кг) и бурой лесной (29,4 Бк/кг) почвах.

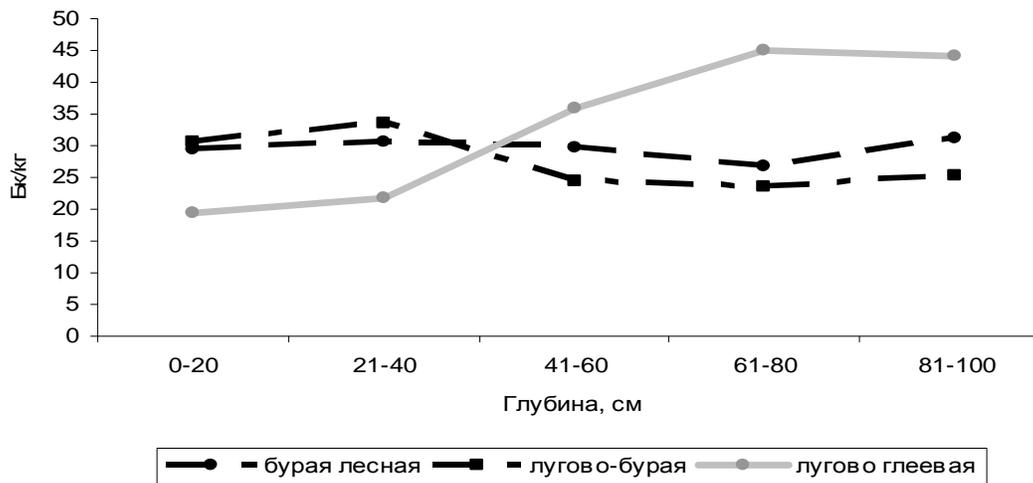


Рис. 5 Динамика накопления тория-232 в почвах

В связи с выше изложенным можно сделать вывод о том, что загрязнение сельскохозяйственных угодий юга Хабаровского края радионуклидами ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) характеризуется следующим образом: удельная активность наиболее опасных искусственных радионуклидов – стронция-90 варьирует в бурой лесной и лугово-бурой почвах от 7,1 до 8,1 Бк/кг, что значительно выше средне-российских показателей [25], а содержание цезия-137 оказалось ниже данных по России от 5,9 до 7,8 Бк/кг для тех же почв.

Выявлено, что во всех почвах отмечается увеличение концентрации естественных радионуклидов в горизонте 81-100 см. По нашему мнению, это связано с их присутствием в материнской породе.

Для подтверждения закономерности изменения содержания радионуклидов по годам и по типам почв была проведена статистическая обработка данных с применением метода дисперсионного анализа. Изменчивость случайной величины под воздействием каких-либо факторов характеризуется ее дисперсией, определяемой по формуле (1) для всего массива данных:

$$D = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} [x_{(i,j)} - x_{cp}]^2 / (n - 1), \quad (1)$$

где  $x_{(i,j)}$  – содержание Sr– 90 в  $i$ -ом году в почве  $j$ -го пункта,  
 $x_{cp}$  – среднее значение содержания стронция по всему массиву, вычисляемое по формуле (2):

$$x_{cp} = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} x(i, j) / n, \quad (2)$$

Общая дисперсия разлагается на две категории, каждая из которых обусловлена изменчивостью одного из факторов:  $D_1$  – дисперсия,

вызванная различием почв (пунктами наблюдения);  $D_2$  – дисперсия, характеризующая изменчивость по годам:

$$D_1 = \sum_{j=1}^{n_2} [x_{cn(j)} - x_{cp}]^2 n_c(j) / (n_2 - 1), \quad (3)$$

$$D_2 = \sum_{i=1}^{n_1} [x_{cz(i)} - x_{cp}]^2 n_n(i) / (n_1 - 1), \quad (4)$$

где  $x_{cp(j)}$  – среднее значение содержания Sr – 90 в почве j–го пункта;

$n_n(j)$  – численность опытов в этом пункте;

$x_{cz(i)}$  – среднее значение содержания элемента в почве в i – ом году;

$n_c(i)$  – численность опытов в этом году.

Общее среднее  $x_{cp}=7,472$ .

Наше предположение о влиянии факторов формулируется в виде нулевой гипотезы: совокупность однородна, влияние факторов отсутствует. Для проверки этой гипотезы сравнивались оценки дисперсии по годам с остаточной дисперсией и получена величина  $F=32,900/7,154=4,60$ . По таблице было найдено значение критерия Фишера, соответствующего выбранной доверительной вероятности  $P=0,95$  (уровень значимости  $\alpha=0,05$ ) и числу степеней свободы 21 и 121 [26]  $F(0,05;21,121)=1,68$ . Полученное нами значение  $F=4,60 > 1,68$  позволило сделать вывод о том, что изменчивость среднего содержания стронция в почвах по годам значительна.

При сравнении значения дисперсии по пунктам с остаточной дисперсией получена следующая величина:  $F=12,571/7,154=1,76 < F(0,05; 7, 121)=2,16$ .

С доверительной вероятностью  $P=0,95$  по выборке не доказано влияние на содержание элемента в почве исследуемого фактора. Но поскольку  $F=1,76=F(0,10; 7, 121)$ , различие некоторых пунктов по содержанию Sr–90 можно принять существенным с меньшей уверенностью ( $P=0,90$ ).

Сравнение различных типов почв показывает, что для бурой лесной и лугово-бурой почв средние значения содержания стронция в почве составляют  $x_{c1}=7,10$  и  $x_{c2}=8,4$ ; а средние квадратические отклонения равны  $S_1=2,88$  и  $S_2=4,02$ .

Применение метода сравнения средних, основанных на критерии Стьюдента и предполагающих нормальное распределение исходных данных позволяет предположить, что средние значения отличаются незначительно для достаточно большого числа опытов ( $n > 30$ ). Для проверки вывода нулевой гипотезы была выдвинута односторонняя альтернативная гипотеза, предполагающая, что содержание стронция-90 в лугово-буровой почве больше. С этой целью вычислена дисперсия и отношения  $t$ , объединенные для этих почв:

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}, \quad (5)$$

$$t = \frac{x_{c2} - x_{c1}}{s} \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (6)$$

Получены значения  $s=3,24$  и  $t=2,05$ . По таблице значение критерия  $t$  для выбранной вероятности  $P=0,95$  и числа степеней свободы  $n_1+n_2=128$  определена величина  $t(0,05; 128)=1,66$ , которая оказалась меньше фактического значения (2,05). Поэтому нулевая гипотеза отвергается, что позволяет предположить, что содержание стронция в различные годы в лугово-буровых почвах существенно больше, чем в бурых лесных. Для лугово-глеевой почвы такой зависимости не установлено.

Аналогичные расчеты выполнены в отношении содержания в почвах цезия-137. Полученные данные с вероятностью  $P=0,95$  позволяют утверждать, что влияние времени и разных типов почв на содержание цезия-137 значительно ( $F=24,457/8,589=2,85 > F(0,05; 23,146)=1,62$  при выявлении зависимости по годам и  $F=47,519/8,589=5,53 > F(0,05; 7,146)=2,09$  – по типам почв). Различное влияние по критерию Стьюдента отмечено для лугово-бурой и бурой лесной почв ( $t=4,28 >$

$t(0,05; 152)=1,66$ ) и незначительное – для лугово-глеевой и бурой лесной ( $t=2,2 > t(0,05; 60)=1,67$ ).

Предложены природно-охранные мероприятия направленные на обеспечение экологической безопасности, заключающиеся в применении средств химизации (известкование, внесение органических удобрений).

### Список литературы

1. Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Эколого-геохимические аспекты миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН. 2001. 161 с.
2. Просянкин Е.В. Экологическая оценка агроэкосистем юго-запада России, загрязненных радионуклидами. // Омнигенная экология: Сборник научных работ; – Брянск, Изд-во Брянской ГСХА, 1995. С. 64-115.
3. Кузнецов А.В., Павлихина А.В., Лобас Н.В. Радиоэкологический мониторинг почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Агроэкологические проблемы сельскохозяйственного производства в условиях техногенного загрязнения агроэкосистемы: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции посвященной 10-летию Академии наук Республики Татарстан, Казань, 2001. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2001. С. 34-37.
4. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992. 83 с.
5. Титаева Н.А., Таскаев А.И. Миграция тяжелых естественных радионуклидов в условиях гумидной зоны. Л.: Наука, 1983. 232 с.
6. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1509-1514.
7. Сапожников А.П., Гришин И.А. Земельный кадастр и земельная политика // Природопользование Дальнего Востока на рубеже веков. Приморский институт агроэкономики и бизнеса. Материалы научной конференции, Хабаровск, 2001. с. 51-58
8. Рябчикова И.А., Серышев В.А., Белых Л.И. Оценка состояния почв агроэкосистем Южного Прибайкалья. Геогр. и природные ресурсы. 2003, № 3, С. 147-150
9. Сычев В.Г., Плющиков В.Г., Кузнецов А.В., Павлихина А.В., Лобас Н.В. Агроэкологическая характеристика пахотных почв Российской Федерации по данным локального мониторинга. Агроэкологические проблемы сельскохозяйственного производства в условиях техногенного загрязнения агроэкосистемы: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции посвященной 10-летию Академии наук Республики Татарстан, Казань, 2001. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2001. С. 14-17.
10. Минеева Н.Я. Эколого-географические аспекты охраны окружающей среды при обезвреживании радиоактивных отходов и радиоактивном загрязнении. // Автореферат диссертации на соиск. уч. степени докт. географ. наук. Москва, МГУ. 1991. 51 с.
11. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток – Хабаровск. Дальнаука. 2000. 171 с.
12. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока, М., «Наука», 1976, 198 с.

13. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям // Почвоведение.–1999.–№1.– С. 114-124.
14. Волкова Т.В Государственный мониторинг земель как элемент обеспечения экологического равновесия. Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 6-7 февр., 2003. Пенза: Изд-во ПГСХА. 2003, 30-32 с.
15. Харина С.Г. Экологические проблемы сельскохозяйственного природопользования Приамурья //Природопользование Дальнего Востока на рубеже веков. Приморский институт агроэкономики и бизнеса. Материалы научной конференции, Хабаровск, 2001. с. 59-61.
16. Махинова А.Ф. Экологическая устойчивость почвенных комбинаций в районах горнорудного освоения. Регионы нового освоения: состояние, потенциал, перспективы в начале третьего тысячелетия 2002. Материалы научной конференции, Хабаровск, 2002. Т. 2. Владивосток; Хабаровск: Изд-во ДВО РАН. 2002 с. 17-19
17. Иванов Г.И. Классификация почв равнин Приморья и Приамурья, Дальневосточное книжное издательство, Владивосток, 1966. 44 с.
18. Росликова В.И. Влияние техногенных геологических процессов на современное почвообразование в городах Дальнего Востока. Владивосток: Даль наука, 1999. 75 с.
19. Состояние природной среды и природоохранная деятельность в Хабаровском крае в 2002 году. Государственный доклад. Хабаровск, 2003. 124 с.
20. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Москва. Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы, 1984. 94 с.
21. Методы и средства радиационного контроля в сельском хозяйстве. Москва. 1995. 178 с.
22. Аринушкина Е.А. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 488 с.
23. Петербургский А.В. Практикум по агрономической химии. -М.: - Колос, 1968. 496 с.
24. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2004 году, Хабаровск, 2005. 182 с.
25. Красницкий В.М. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Западной Сибири, диссертация на соискание доктора наук, Омск, 2002. 52 с.
26. Митропольский А.К.. Техника статистических вычислений. М. Наука.1971. 575 с.