

Исследование особенностей восстановительных сукцессий на территориях техногенных отвалов промышленных городов Иркутской области

A study of the characteristics of restorative successions in the territories of man-made waste dumps of industrial cities in the Irkutsk region

Шергина О. В.

Shergina O. V.

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: sherolga80@mail.ru
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia*

Реферат. Исследование проведено в городах Ангарск и Усолье-Сибирское Иркутской области, где изучены специфические черты техногенного почвообразования и состояние травянистых, древесных и кустарниковых сообществ в неблагоприятных экологических условиях. Выявлены четыре типа эмбриоземов: инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные, отражающие последовательные этапы развития техногенных почв. Каждому типу эмбриозема соответствуют конкретные фазы восстановительных сукцессий растительности: от простейших группировок сорных трав на начальных стадиях до сложных фитоценозов на гумусово-аккумулятивных почвах. В условиях непрерывной техногенной трансформации почвенно-растительного покрова происходит интенсивное изменение потоков миграции элементов в системе почва-растение. По суммарному показателю концентрации элементов-загрязнителей инициальные эмбриоземы относятся к категории чрезвычайно опасного загрязнения, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные – опасного загрязнения. Определены основные виды-концентраторы тяжелых металлов среди травянистых и древесных растений. Заключается, что для восстановления почвенно-растительного покрова на территориях с высокой техногенной нагрузкой, первоочередным и целесообразным является проведение рекультивационных работ, направленных на улучшение условий почвообразования (например, увеличение гумусированной толщи почв), что в дальнейшем позволит обеспечить долгосрочное и устойчивое функционирование фитоценозов. Повышение эффективности рекультивации позволит создать безопасность жизнедеятельности населения.

Ключевые слова. Биогеохимические процессы, защитные возможности почвы, растения-концентраторы, растительные сукцессии, эмбриоземы.

Summary. The study was conducted in the cities of Angarsk and Usolye-Sibirskoye in the Irkutsk Region. The specific features of technogenic soil formation and the condition of herbaceous, trees, and shrub communities under unfavorable environmental conditions were examined. Four types of embryozems were identified: initial, organo-accumulative, soddy, and humus-accumulative, reflecting the sequential stages of technogenic soil development. Each embryozem type corresponds to specific phases of vegetation restorative succession: from the simplest weed groups in the initial stages to complex phytocenoses on humus-accumulative soils. Under conditions of continuous technogenic transformation of the soil and vegetation cover, intensive changes in the migration flows of elements in the soil-plant system occur. Based on the total concentration of pollutants, initial embryozems are classified as extremely hazardously polluted, while organo-accumulative, soddy, and humus-accumulative soils are classified as hazardously polluted. The main heavy metal concentrators among herbaceous and trees have been identified. It is concluded that, to restore the soil and vegetation cover in areas with high anthropogenic loads, reclamation work aimed at improving soil formation conditions (for example, increasing the humus layer of soils) is a priority and advisable approach. This will subsequently ensure the long-term and sustainable functioning of phytocenoses. Increasing the efficiency of reclamation will help ensure the safety of life for the population.

Key words. Biogeochemical processes, concentrator plants, embryozems, protective capabilities of soil, plant successions.

Введение. При складировании отходов промышленного производства на полигонах формируются значительные площади земель, занятые техногенными отвалами и хвостохранилищами. Загрязняющие вещества, сосредоточенные в техногенной зоне, резко изменяют естественное состояние

окружающей среды прилегающих территорий, что в первую очередь проявляется в нарушении экологического функционирования растительности и почвы – ключевых средообразующих компонентов экосистемы (Шишкин, 2016). В последние десятилетия при изучении техногенных экосистем большое внимание уделяется восстановительным сукцессиям фитоценозов. Такие исследования позволяют решать не только важные экологические задачи, но и приобретают практическое значение для создания устойчивых гомеостатичных экосистем. Формирование фитоценозов – один из основных неотъемлемых критериев восстановления природных функций территорий, трансформированных в ходе техногенеза (ГОСТ Р 57446–2017). В техногенных зонах формирование растительного покрова происходит при последовательном прохождении ими определенных стадий развития – стадий сукцессии. Оценка сингенетических сукцессий растительности позволяет охарактеризовать изменение состояния стабильности складывающихся фитоценозов и направленность почвообразовательного процесса (Манков и др., 2011). В этом плане техногенные отвалы являются показательными моделями для изучения растительных сукцессий, поскольку их формирование начинается с нулевого момента развития экосистем (Андроханов и др., 2004). В настоящее время, изучение пространственно-временной динамики восстановительных сукцессий на поверхности техногенных почв является актуальной экологической задачей, решение которой позволяет оптимизировать фиторемедиацию нарушенных земель и провести оптимальные мероприятия их рекультивации. Данное обстоятельство определило актуальность исследования, которая заключается в изучении закономерностей посттехногенного восстановления естественного растительного покрова и почв на промышленных территориях в целях решения задач рационального природопользования.

Материалы и методы. Исследования были проведены в пределах промышленных отвалов крупных химических производств Приангарья (города Ангарск и Усолье-Сибирское). По данным Минпромэнерго РФ, более 65 % твердых промышленных отходов региона складываются на полигонах, образуя техногенные отвалы (Государственный доклад..., 2017). При этом, в промышленных зонах городов, общей площадью 575 тыс. га, наблюдается ежегодное увеличение нарушенных земель на 0,4 тыс. га. Только на территориях таких агломераций, как Усолье-Сибирское и Ангарск к настоящему моменту накоплено более 1,5 млрд тонн техногенных отходов, а площадь самих промышленных отвалов составляет более 650 га – для Ангарска и более 350 га – для Усо́лья-Сибирского (Государственный доклад..., 2019). В результате на обширных территориях ограниченного землепользования наблюдается высокий риск загрязнения окружающей среды, нарушение естественных ландшафтов, трансформация функционирования природных экосистем, вплоть до полного уничтожения растительных сообществ и истощения земельных ресурсов. В целях восстановления утраченных под воздействием различных факторов природных экосистем, государственными нормативными документами предусматриваются мероприятия по их рекультивации, охране и рациональному использованию. В частности, в постановлении Правительства РФ от 10 июля 2018 г. №800 «О проведении рекультивации и консервации земель» под понятием рекультивация земель подразумеваются – мероприятия по предотвращению деградации земель и восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их целевого использования, в том числе путем устранения последствий загрязнения почвы, восстановления плодородного слоя почвы и создания защитных травянистых и древесных насаждений.

Результаты и обсуждение. Известно, что в РФ и за рубежом до настоящего времени не разработаны единые подходы комплексной оценки техногенных полигонов как экологических систем. В этом аспекте важным направлением исследования, которое определило цель нашей работы, служит изучение на таких территориях состояния почв и растений – главных средообразующих компонентов окружающей среды и оценка их динамического изменения (развития) в условиях интенсивного техногенного воздействия. Основные задачи, которые решались в рамках настоящей работы, были следующими: экологическая характеристика почвенного покрова и растительности (травяной ярус, древесная растительность) техногенных отвалов; оценка процессов биогеохимической миграции ТМ на техногенной территории; изучение динамики растительных сукцессий и посттехногенное восстановление территории; представление природоохранных рекомендаций по рекультивации территорий.

Проведенные исследования показали, что оба техногенных отвала (Ангарска и Усо́лья-Сибирского) формировались главным образом путем непосредственного погребения естественных почв под пластами твердых отходов промышленного производства. В результате природных процессов в пределах отвалов сформировались техногенные почвы – эмбриоземы. Нами выделено несколько типов

эмбриоземов на разных стадиях техногенного почвообразования: инициальные, к которым относятся собственно техногенные поверхностные образования (ТПО), представляющие собой отходы промышленного производства; органо-аккумулятивные; дерновые; гумусово-аккумулятивные. Проведенные исследования показали, что развитие эмбриоземов во времени непосредственно связано с процессами геохимической трансформации ТПО, результатом которого является преобразование разнородных фракций техногенного мелкозема, приуроченных к различной глубине залегания почвенных горизонтов. Установлено, что на территории химического производства г. Ангарска, инициальные эмбриоземы составляют более 85 % от всей площади, на долю органо-аккумулятивных эмбриоземов приходится 10 %, дерновых – 5 %, а гумусово-аккумулятивные эмбриоземы не встречаются. Фактором, препятствующим развитию дернового процесса и зарастанию исследуемых площадок растениями, является неблагоприятные физико-механические характеристики отвалов. Полевое определение структуры поверхностного горизонта отвалов показало, что преобладают пылеватые (< 0,5 см) и мелкокомковатые (от 0,5 до 1 см) частицы техногенного мелкозема. Такая структура эмбриоземов не является устойчивой, вследствие чего отвалы подвержены интенсивной ветровой и водной эрозии, атмосферная влага не способна интенсивно задерживаться, и соответственно, отсутствует необходимый гидрологический и микробиологический режимы. В промышленной зоне г. Усолья-Сибирского наблюдается активное развитие эмбриоземов, которое обусловлено накоплением органического вещества. По нашим данным, процесс формирования эмбриоземов на данной территории протекает на протяжении нескольких десятилетий (от 20 до 40 лет). Если в инициальных эмбриоземах (их доля составляет менее 5 % от общей площади отвалов) какие-либо органогенные горизонты полностью отсутствуют, то в органо-аккумулятивных (20 %) уже обнаруживается органическая подстилка, в дерновых отмечается наличие хорошо сформированного дернового горизонта (45 %), в гумусово-аккумулятивных (30 %) имеет место выраженная гумусированная толща.

С целью количественной оценки экологического состояния почвенного покрова промышленных территорий были определены индексы суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами (Zс), при расчете которых в качестве фоновых были взяты концентрации металлов в зональных фоновых почвах. Согласно существующим нормативам, в эмбриоземах высоки концентрации многих химических элементов. Интегральный показатель Zс для инициальных эмбриоземов составляет 143,2; для органо-аккумулятивных – 107,8; для дерновых – 75,8; для гумусово-аккумулятивных – 65,4. При этом содержание ТМ 1–3 класса опасности в органо-аккумулятивных эмбриоземах (первая стадия почвообразовательного процесса) промышленных территорий Ангарска и Усолья-Сибирского достигает очень высоких значений: Sr25,3 Th14,7 Mo13,7 Se12,2 As8,1 Cu6,5 Pb6,3 Cr5,8 Cd5,2 Zn4,8 Ni3,2 и уровень их загрязнения характеризуется как чрезвычайно опасный. В дерновых и гумусово-аккумулятивных эмбриоземах содержание ТМ в почвенном профиле гораздо ниже, уровень загрязнения – опасный. Все техногенные почвы характеризуются высокой щелочностью верхних горизонтов – для инициального эмбриозема рНводн. составляет 11–13, органо-аккумулятивного 10–12, гумусово-аккумулятивного 8–9. Обнаружено, что на территории промышленной зоны Усолья-Сибирского наблюдается прогрессивное развитие гумусообразовательного процесса (рис. 1).



Рис. 1. Накопление органического вещества на поверхности почвенных агрегатов в гумусово-аккумулятивном эмбриоземе.

По нашим данным, за 40 лет сформировалось более чем 2 см гумусового горизонта и произошло изменение физико-механической структурированности почвенного профиля до глубины более 0,5–0,8 м. При этом, по мере развития почвообразовательного процесса в эмбриоземах сформировались защитные (протекторные) механизмы. Установлено, что в условиях активного развития дернового процесса, в почвах наблюдается увеличение и стабилизация доли устойчивых гуминовых кислот в сравнении с высокоподвижными фульвокислотами. При рассмотрении фракционного состава гумуса, показано его изменение от фульватного в слаборазвитых органо-аккумулятивных эмбриоземах, до гуматного в гумусово-аккумулятивных. Формирование стабильных соединений гумуса приводит к увеличению содержания

питательных элементов и повышению детоксицирующей способности почв, которая выражается в активной хемосорбции элементов-токсикантов в составе труднорастворимых комплексных соединений (например, $K_2[Zn(OH)_4]$, $Na_2[Pb(OH)_4]$, $Na_2[Cd(OH)_2]$ и др.) с гуминовыми кислотами. Выявлено, что подщелачивание приводит также к усилению адсорбционной способности ППК по отношению к элементам-загрязнителям, то есть к их иммобилизации вследствие образования соединений с низкой скоростью миграции. При очень высоком уровне загрязнения ($Zc > 150$) регистрируется адсорбция токсичных ионов (SO_4^{2-} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) в составе труднорастворимых соединений илистой фракции почв и существенно уменьшается их доступность для корневого питания растений.

Исследования установили, что каждой стадии техногенного почвообразования соответствует распространение определенных растительных сообществ. На инициальных эмбриоземах растительность представлена редкими пионерными группировками рудеральных видов. На органо-аккумулятивных эмбриоземах в небольшом количестве отмечаются сорные виды, злаки и осоки, небольшие куртины кустарников (*Padus avium* Miller, *Caragana arborescens* Lam., *Hippophaë rhamnoides* L., *Salix viminalis* L.) и единичные низкорослые сильно угнетенные деревья *Pinus sylvestris* L. (рис. 2а), *Betula pendula* Roth (рис. 2б), *Populus laurifolia* Ledeb. (рис. 2в).

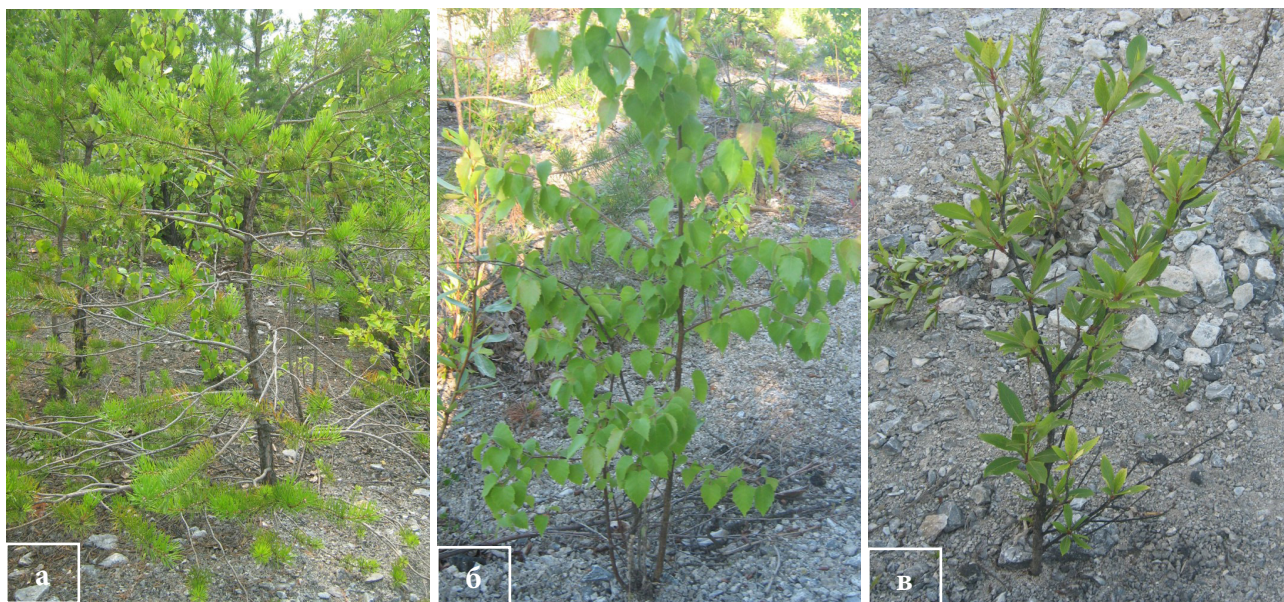


Рис. 2. Вид деревьев *Pinus sylvestris* L. (а), *Betula pendula* Roch (б), *Populus laurifolia* Ledeb. (в), произрастающих на органо-аккумулятивных эмбриоземах промышленной зоны г. Усолья-Сибирского.

На дерновых эмбриоземах процент проективного покрытия возрастает, в растительных группировках преобладает более 10 видов, отдельными группами представлена древесная и кустарниковая растительность. На участках отвала, где формируются гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, проективное покрытие травяного покрова составляет от 30 до 50 %, в его состав входит около 15–20 видов, древесная растительность представлена небольшими массивами смешанного состава. Визуально как травянистая, так и древесная растительность отвалов, сильно отличаются от таковой на ненарушенных почвах. Основными признаками ослабления хвойных и лиственных деревьев служат: резкое уменьшение прироста ствола по высоте и диаметру, появление хлорозов и некрозов на листьях и хвое. Так, у сосны, произрастающей на органо-аккумулятивных эмбриоземах, уровень дефолиации крон достигает 75–80%, обнаруживается снижение длины побегов до 6 раз, длины хвои – до 4 раз, уменьшение массы хвои побегов – до 7 раз, количества пар хвоинок на побеге – до 5 раз.

Использование метода аккумулятивной фитоиндикации позволило установить накопление ТМ в органах травянистых и древесных растений. В качестве фитоиндикаторов были выбраны виды растений, широко представленные в техногенных зонах. При проведении химико-аналитических исследованиях надземной (стебли, листья, цветки) и подземной (корни) биомассы травянистых растений на содержание ТМ были выявлены основные виды-концентраторы: *Melilotus albus* Medik., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Trifolium hybridum* L., *Trifolium repens* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia cracca* L., *Medicago sativa* L.,

Sonchus arvensis L., *Chamerion angustifolium* (L.) Scop. При этом максимальные значения коэффициентов концентрации (Кс) ТМ относительно фона обнаружены в надземной биомассе растений, произрастающих на органо-аккумулятивных эмбриоземах промышленных зон Ангарска и Усоля-Сибирского. Для этих территорий Кс ТМ в стеблях растений составляют: Sr18,6 Th11,2 Mo9,8 Se8,1 As7,3 Cu6,4 Cr5,3 Zn5,1 Ni4,9 Pb4,5 Cd3,6, в корнях – Sr15,2 Th9,2 Mo7,3 Se6,5 Cu5,1 Cr4,4 As4,0 Ni3,8 Zn3,5 Pb2,9 Cd2,1. Важным количественным критерием значимости растения как аккумулятивного биоиндикатора и одновременно активного участника биогеохимических процессов на загрязненных территориях является величина коэффициента биологического накопления (КБН) металлов в системе «почва-растение», который рассчитывали по формуле $KБН = A/B$, где А – содержание металла золе растений, В – содержание металла в почвенной вытяжке (Перельман, 1989). Исследования показали, что на обследованных техногенных территориях в корнях растений, произрастающих на органо-аккумулятивных, дерновых и гумусово-аккумулятивных эмбриоземах, КБН (от 0 до 1) для Sr, Th, Mo, As составляет 0,2–0,4; для Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, Se, Ni – 0,5–0,6. Выявлено, что надземная биомасса растений способна к более высокой аккумуляции ТМ. Так, для видов *Melilotus* и *Medicago sativa* L. средние значения КБН составляют 0,9–1, для видов *Trifolium* и *Sonchus arvensis* L. – 0,8–0,9, для *Vicia cracca* L. и *Chamerion angustifolium* (L.) Scop. – 0,7–0,8. Полученные результаты дают основание рассматривать эти растения как объекты, отвечающие целям аккумулятивной биоиндикации. Более высокое накопление ТМ в надземной биомассе позволяет использовать данные виды растений для фиторемедиации и значительно упрощает ее технологию проведения, при которой производится только скашивание надземной биомассы растений-концентра-торов без их выкапывания.

Исследование содержания ТМ в хвое сосны, в листьях деревьев и кустарников (14 видов) также выявило значительно высокий уровень накопления ТМ (табл. 1). Самые высокие концентрации элементов в ассимиляционных органах растений регистрируются на тех участках промышленных территорий Ангарска и Усоля-Сибирского, где формируются органо-аккумулятивные эмбриоземы. Тогда как на дерновых и гумусово-аккумулятивных эмбриоземах концентрации элементов-загрязнителей в ассимиляционных органах деревьев и кустарников уже значительно снижаются. Обнаружено, что древесные породы из разнообразных по видовому составу зеленых массивов, произрастающих на наиболее развитых гумусово-аккумулятивных эмбриоземах промышленной зоны Усоля-Сибирского, способны аккумулировать в листовой фитомассе концентрации ТМ, превышающие фоновый уровень в 3,2–18 раз (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты концентрации (Кс) ТМ в хвое и листьях деревьев/кустарников, произрастающих на гумусово-аккумулятивных эмбриоземах Усоля-Сибирского

Название породы	Кс Pb	Кс Cd	Кс Cu	Кс Zn	Кс Cr	Кс Ni
<i>Pinus sylvestris</i> L.	7,3	5,7	4,9	24,7	39,5	24,7
<i>Betula pendula</i> Roch	13,4	12,5	13,7	87,6	56,2	48,2
<i>Populus laurifolia</i> Ledeb.	14,8	12,2	14,3	61,3	41,8	67,6
<i>Populus suaveolens</i> Fisch.	12,5	13,1	14,5	62,4	59,4	50,8
<i>Populus tremula</i> L.	14,2	12,3	12,2	98,3	53,8	47,1
<i>Acer negundo</i> L.	14,3	6,8	8,3	18,6	67,7	48,3
<i>Prunus padus</i> L.	12,7	11,9	10,7	17,3	75,2	52,5
<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	11,2	8,4	12,8	10,1	64,5	73,6
<i>Salix viminalis</i> L.	14,4	11,1	10,7	83,4	67,2	52,2
<i>Salix caprea</i> L.	13,5	10,3	14,8	71,6	31,9	35,5
<i>Salix boganidensis</i> Trautv.	14,1	12,9	10,2	82,3	63,2	48,6
<i>Salix kochiana</i> Trautv.	11,2	8,3	10,4	27,4	40,1	31,3
<i>Salix taraikensis</i> Kimura	14,3	14,7	10,9	61,3	76,2	39,7
<i>Salix myrtilloides</i> L.	12,7	11,6	10,4	75,3	52,3	24,3
<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.	10,5	5,2	12,6	17,5	29,6	28,2

Установлено, что каждая древесная порода является избирательным биоиндикатором по отношению к тому или иному ТМ или группе ТМ. При этом самые высокие концентрации валовых форм ТМ обнаружены в ассимиляционных органах следующих пород: *Betula pendula* Roch., *Populus laurifolia* Ledeb., *Populus suaveolens* Fisch., *Populus tremula* L., *Salix viminalis* L., *Salix boganidensis* Trautv., *Salix taraikensis* Kimura. Соответственно, эти древесные растения, можно считать наилучшими видами-консерваторами элементов-токсикантов и использовать их для фиторемедиации. Необходимо также отметить, что все выбранные для исследования деревья и кустарники хорошо адаптируются к жестким почвенным условиям, что позволяет их использовать для рекультивационных мероприятий при восстановлении фитопеdocенозов на техногенно нарушенных территориях. Расчет КБН показал, что содержание элементов-загрязнителей в ассимиляционных органах древесных растений в значительной степени обусловлено интенсивным перераспределением (миграцией) этих элементов в профиле эмбриоземов. Выявлены тесные связи ($r = 0,75-0,87$) между накоплением подвижных форм ТМ в нижних минеральных горизонтах эмбриоземов и их валовым содержанием в ассимиляционных органах древесных растений. Это объясняется тем, что в минеральных горизонтах эмбриоземов значительные концентрации ТМ содержатся в виде легкорастворимых солей и карбонатов, которые обладают высоким потенциалом миграции в условиях щелочного режима и легко поступают в корневую систему древесных растений. В тоже время, для наиболее развитых гумусово-аккумулятивных эмбриоземов установлены наименьшие корреляционные зависимости между накоплением ТМ в органо-минеральных горизонтах и ассимиляционных органах древесных растений. Этот факт подтверждает детоксицирующую способность эмбриоземов по отношению к ТМ, обусловленную накоплением органического вещества в почвенном профиле. Поэтому, по нашему мнению, одним из вариантов успешной искусственной рекультивации техногенных почв, должно являться в первую очередь создание органо-минеральных смесей для отсыпки поверхности отвалов с последующим проведением фиторемедиации, использующей виды травянистых и древесных растений-концентраторов.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют, что в промышленных зонах Иркутской области (города Ангарск и Усолье-Сибирское) наблюдается постепенное посттехногенное формирование растительного покрова и восстановление процессов почвообразования. Выделено несколько типов эмбриоземов (инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые, гумусово-аккумулятивные), которые можно рассматривать как последовательные стадии техногенного почвообразования. На основании эдафического и дендрологического обследования установлен временной период формирования почв: от 20 лет (органо-аккумулятивные эмбриоземы) до 40 лет (гумусово-аккумулятивные эмбриоземы). В горизонтах техногенных почв обнаружено значительное содержание ТМ: Sr, Th, Mo, Se, As, Cu, Cr, Zn, Ni, Pb, Cd. По суммарному показателю концентраций ТМ инициальные эмбриоземы отнесены к категории чрезвычайно опасного загрязнения, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные – опасного загрязнения. Каждой стадии техногенного почвообразования соответствует распространение определенных растительных сообществ. На инициальных эмбриоземах выделяются пионерные группировки, сложенные в основном травянистыми сорными видами, на органо-аккумулятивных встречаются злаки, осоки, кустарники, на дерновых и гумусово-аккумулятивных представлены различные группы травянистой и древесной растительности. Показано, что наличие в составе почвенного покрова техногенных ландшафтов гумусово-аккумулятивных эмбриоземов (промышленная зона Усолья-Сибирского) свидетельствует о благоприятных перспективах восстановления. Преобладание в составе почвенного покрова техногенных территорий наименее развитых инициальных и органо-аккумулятивных эмбриоземов (промышленная зона Ангарска), свидетельствует о менее благоприятном прогнозе восстановления почв. Показано, что формирование травянистого и древесного растительного покрова на техногенных ландшафтах способствует развитию процессов почвообразования на нарушенных территориях, и только целенаправленное формирование благоприятного корнеобитаемого слоя позволяет создать экологические условия для восстановления нарушенных экосистем. Результаты свидетельствуют, что более чем за 40 лет существования промышленных техногенных отвалов на территории Усолья-Сибирского, произошла взаимосвязанная трансформация эмбриоземов и растительности, тренд которой направлен в сторону самовосстановления нарушенной территории. По данным КБН установлены функциональные связи, характеризующие процессы аккумуляции и миграции пула ТМ в фито-педоценозах. Показано, что травянистые растения *Melilotus albus* Medik., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Trifolium hybridum* L., *Trifolium repens* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia cracca* L., *Medicago sativa* L.,

Sonchus arvensis L., *Chamerion angustifolium* (L.) Scop. способны накапливать как в надземной и подземной биомассе высокие концентрации ТМ. Использование предложенных видов-концентраторов в фиторемедиации позволит снижать уровень загрязнения верхних слоев техногенных почв и может служить перспективным подходом для обезвреживания промышленных территорий, загрязненных ТМ. Среди древесных растений, накапливающих наибольшие концентрации ТМ, выделены следующие виды: *Betula pendula* Roch, *Populus laurifolia* Ledeb., *Populus suaveolens* Fisch., *Populus tremula* L., *Salix viminalis* L., *Salix boganidensis* Trautv., *Salix taraikensis* Kimura. Установлено, что к основным индикаторам состояния почвы, контроль которых должен осуществляться в первую очередь перед рекультивацией, относятся: содержание органического вещества, мощность гумусового горизонта и кислотно-щелочные свойства. Эти показатели почв, в большей степени определяют ее защитные возможности по отношению к полиэлементному загрязнению ТМ. Формирование наиболее устойчивых гумусово-аккумулятивных эмбриоземов и видового разнообразия фитоценозов на отвалах будут являться основополагающим факторами, свидетельствующими о восстановлении техногенных территорий. Поскольку процесс естественного восстановления в промышленных зонах протекает медленно, одним из вариантов рациональной рекультивации техногенных почв является формирование на их поверхности насыпного плодородного (гумусового) слоя. Кроме этого, сохранение видового состава аборигенной растительности и дополнительное создание искусственных фитоценозов из видов-концентраторов, также будет способствовать улучшению восстановления нарушенных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

- Андроханов В. А., Куляпина Е. Д., Курачев В. М.** Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 151 с.
- ГОСТ Р 57446–2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия. Изд. официальное. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 апреля 2017 г. № 283–ст. – М.: Стандартинформ, 2017. – 23 с.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году». – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2019. – 307 с.
- Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2016 г. – М.: Минэнерго России, 2017. – 264 с.
- Манаков Ю. А., Стрельникова Т. О., Куприянов А. Н.** Формирование растительного покрова в техногенных ландшафтах Кузбасса. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 180 с.
- Шишикин А. С.** Организация исследований техногенных территорий // Сибирский лесной журнал, 2016. – № 2. – С. 102–119.