

УДК 631.474

АНТРОПОГЕННЫЕ ПОЧВЫ НА ЛЕСНЫХ ЗЕМЛЯХ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ

Захарченко Александр Викторович¹,
zakh@tpu.ru

Пасько Ольга Анатольевна¹,
oap@sibmail.com

Ипатова Дарья Витальевна¹,
ipatovadasha@gmail.com

Раудина Татьяна Валериевна²,
tanya_raud@mail.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, ул. Ленина, 30.

² Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность. Антропогенные почвы, потерявшие свой природный статус, являются малоизученными объектами. На лесных землях под воздушной линией электропередачи сверхвысокого напряжения в санитарно-защитной зоне установлены факты деградации почв, не учитываемые при проектировании объектов. Она в большинстве случаев вызвана раскорчевкой древесной растительности. Учитывая значительную протяженность на лесных землях линий электропередачи этого класса напряжения, воздействие носит глобальный характер.

Цель работы: диагностика почв и картографирование почвенного покрова на землях санитарно-защитной зоны под линией электропередачи, образованных на лесных территориях для оценки деградации земель при строительстве и эксплуатации объектов энергетики.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования является техногенный нарушенный почвенный покров санитарно-защитной зоны линии электропередачи. Объем выборки – 320 нарушенных участков. Используются непараметрические виды анализа на основе пакета STATISTICA.

Результаты. Проведен анализ биоразнообразия почв и определена степень деградации земель в санитарно-защитной зоне. Рассмотрены пространственные характеристики участков антропогенных почв.

Выводы. Антропогенное воздействие на земли санитарно-защитной зоны приводит к созданию различных по масштабу, возрасту и происхождению деградаций почвенного покрова. Показано, что распределение площадей нарушенных участков подчиняется степенному закону. Выделено 4 основных типа антропогенных почв санитарно-защитной зоны насыпные почвы (стратоземы и стратолиты) – 2,2 %, резектозем 1 – 3,9 % и резектозем 2 – 11 % текстурно-дифференцированных дерново-подзолистых почв, абразом – 10 %. Площади антропогенно-измененных почв нарушенного сложения составляют 27,5 % от изученной площади. Степень деградации почв оценивается в 3 балла из 5. При строительстве образуются нарушения почв более обширные и более разнообразные по форме (при $p > 0,95$), чем за период эксплуатации. Сравнение распределения случайных величин площадей участков по типам антропогенных почв показывает, что существуют достоверные различия между абраземами и резектоземами 2 ($p > 0,95$). По фактору формы насыпные почвы достоверно более округлые ($p > 0,95$), чем участки абраземов. Почвенный покров имеет высокую степень деградации и нуждается в рекультивации.

Ключевые слова:

Антропогенные почвы, дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, деградированные земли, биоразнообразие почв, санитарно-защитная зона, воздушные линии электропередачи.

Введение

Современной наукой признается, что деградация земель и опустынивание являются двигателем климатических изменений [1, 2]. Линии электропередачи, включая подстанции, относятся к объектам, слабо загрязняющим химическими веществами окружающую среду, поэтому их причисляют к «мягко» влияющему техническому объекту, хотя и отмечаются многоплановые негативные воздействия на природу [3]. С другой стороны, при строительстве воздушной линии электропередачи сверхвысокого напряжения (ВЛ СВН) на лесных землях в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) установлены факты деградации почв [4], не учитываемые проекти-

ровщиками объектов энергетики. Она вызвана технологическими операциями с участием тяжелой техники: рубка, трелевка, транспортировка древесины. Многочисленные пятна почв с отсутствием верхней части профиля образуются при корчевании пней, которое исключено из нормативных документов на данный момент, но широко употреблялось при прокладке просеки под ВЛ СВН в 20 веке.

Целью работы является диагностика и картографирование антропогенных нарушений почвенного покрова бореальных лесов на землях санитарно-защитной зоны при строительстве и эксплуатации линий электропередачи сверхвысокого напряжения, имеющих возраст более 30 лет.

В российской классификации почв [5] достаточно много внимания уделено антропогенно-преобразованным почвам. В зарубежной научной литературе антропогенно-преобразованные почвы (man-made soil) – это почвы, потерявшие свой природный статус [6, 7]. Любые почвы, подвергшиеся воздействию человека, частично сохранившие свой природный статус после единичного механического или химического воздействия, относят к антропогенно-измененным почвам. Фонд таких почв постоянно накапливается, потому что естественное восстановление таких почв протекает за период более 30 лет. Все эти почвы, частично утрачившие плодородие, являются малоизученными объектами на сегодняшний день. Ситуация осложняется тем, что территории, находящиеся в санитарно-защитной зоне, под влиянием производства подвергаются воздействию специфических факторов антропогенной природы, которые придают дополнительное направление развитию почвенного покрова, иногда вызывая образование почв, ранее в природе не существовавших. Под воздушными линиями электропередачи после сведения леса формируются специфические экологические условия [8]. Например, во избежание токов утечки в СЗЗ деревья или кусты вырубается. Поддержание на бывшей лесной территории луговой растительности является экологическим фактором, влияющим на морфологию почвы всей СЗЗ [9].

Объекты и методы

Объектом исследования является техногенный нарушенный почвенный покров СЗЗ ВЛ СВН. Проведена полевая почвенная съемка техногенных нарушений сложения почв, охватывающая расстояние 750 м, захватывающая два пролета между тремя опорами при ширине просеки 60–70 м. Исследования проведены вблизи с. Ломачевка Кемеровской области (градусы северной широты – 56,14, градусы восточной долготы – 86,84). Линия электропередачи ВЛ-500 кВ ПС «Итатская» – ПС «Ново-Анжерская» № 524 (кадастровый номер СЗЗ – 42.00.2.41) запущена в эксплуатацию в 1967 г. (рис. 1).

Земля под ВЛ СВН находится в санитарной зоне отчуждения и ограничено используется фермерами для проезда, выпаса домашнего скота и сенокосения. Географически площадка исследования располагается на макросклоне Арчакского кряжа юго-восточной экспозиции. Абсолютные высотные отметки водораздела кряжа увеличиваются с запада на восток. В районе исследований они изменяются в интервале от 180 до 220 м над уровнем моря. Относительная высота кряжа в данном районе достигает 100 м.

На территории СЗЗ текстурно-дифференцированные дерново-подзолистые почвы (umbric albeluvisols, WRB, 2006) имеют морфологическую особенность в виде серых пятен или полосы в нижней части элювиального горизонта (второй гумусовый горизонт). Территория СЗЗ является неоднородной по составу естественных и антропогенных почв [9].

Морфологическое строение, химические и физические свойства этих почв достаточно подробно изучены [10]. Дерново-подзолистые почвы азональны, и в виде полосы окаймляют Арчакский кряж, располагаясь на пологой средней части склона. Зональными почвами считаются обычные черноземы, темно серые и серые лесные почвы.

Растительный покров СЗЗ имеет мозаичный характер, что определяется комплексом как антропогенных, так и естественных микроценозов [11]. На ненарушенных или слабонарушенных участках просеки уменьшается обилие видов лесного разнотравья и увеличивается участие лесо-луговых и луговых видов. Возрастание обилия луговых видов сопровождается увеличением, как проективного покрытия, так и высоты вегетативных побегов.

Выбор данного участка в качестве ключевого обусловлен характерными свойствами для лесной территории Западной Сибири – ровным, слабонаклонным рельефом, смешанным берёзово-осиновососновым лесом, луговой травянистой растительностью, благоприятными климатическими условиями, дерново-подзолистыми почвами, характерными для южной тайги. Морфология этих почв позволяет легко диагностировать степень нарушения их профиля по присутствию или отсутствию осветленного элювиального горизонта. Частично срезан гумусовый горизонт, но сохраняется элювиальной – слабонарушенная почва. Если срезан гумусовый горизонт полностью и частично элювиальный, то такие почвы отнесены к средненарушенным. Сильнонарушенной считается почва, лишенная гумусового, элювиального и частично или полностью переходного горизонтов.

На основе расчетов иерархической структуры неоднородности почв [12] определена сетка наблюдений антропогенно-измененных почв с 40-метровым расстоянием между узлами. Территория СЗЗ инструментально разбивается на квадраты 40×40 м относительно центрального провода и размечается вешками. Общая ширина СЗЗ составляет 60 м. Квадраты ориентированы относительно проекции центрального провода на землю, поэтому по краям СЗЗ отбиваются полосы 20–40 м в зависимости от положения границы леса или наличия антропогенно-измененных почв за пределами СЗЗ. Отображение границ выявленных почвенных выделов проведено в масштабе 1:1000.

Для картографирования сложного по форме контура нарушения или наличия множества мелких рытвин изучаемый квадрат дробится на части. Для разметки территории используются буссоль и металлическая мерная лента (40 м). Внутри квадрата описывается морфологическое строение почв нарушенного сложения. Визуально оценивается площадной процент присутствия диагностированных типов/подтипов антропогенно-нарушенных почв в общем контуре. Название контура и оценка степени нарушенности почв внутри контура определяется по преобладающему типу/подтипу антропогенной почвы.

При строительстве ВЛ СВН в 1986 г., расположенной параллельно в одном коридоре с изученной воздушной линией, построенной в 1967 г., проведена чистка СЗЗ от древесной растительности. Участки, подвергшиеся воздействию, нанесены на карту. В соответствии с правилами эксплуатации ВЛ СВН до 1986 г. использовалась рубка древесной растительности, проводимая каждые 3 года. Рубка не вызывает нарушение сложения почв. Поэтому границы контуров антропогенных почв,

не относящиеся к 1986 г., отнесены к моменту строительства объекта – 1967 г. В последующие годы растительность просеки обрабатывается дефолиантами.

Положение выявленных контуров участков антропогенных почв привязано к положению опор ВЛ СВН и нанесено с использованием AUTOCAD на аэрокосмический снимок высокого разрешения.

Для характеристики формы выделенных полигонов используется расчетная переменная величина

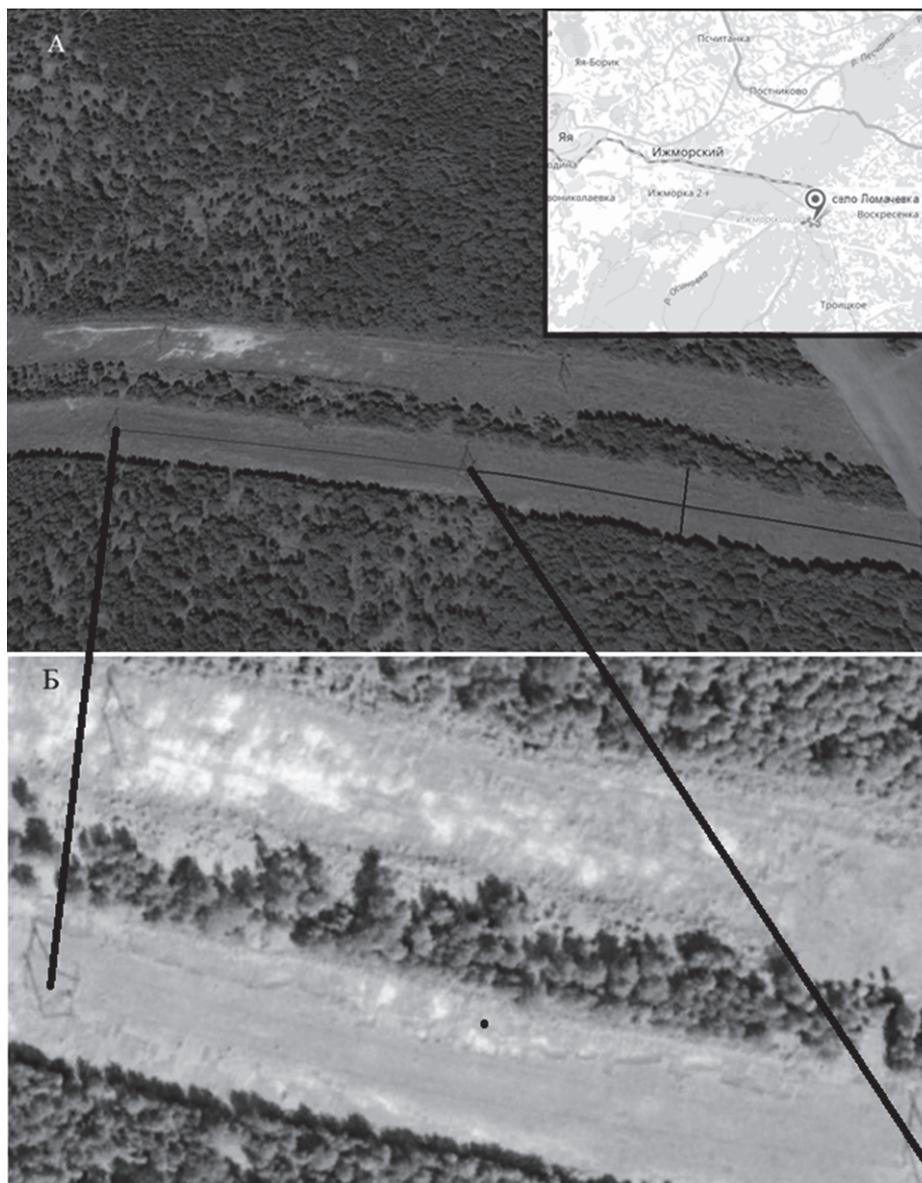


Рис. 1. А) Положение на местности изученной части СЗЗ ВЛ СВН (снимок 2016 г., опубликован Google®). На вкладке показаны ближайшие населенные пункты. Линиями по центру СЗЗ показана дистанция между опорами (слева направо – 340, 368 м), черной линией – положение траншеи, где измерялись мощности почвенных горизонтов, белесые пятна СЗЗ – деградированные почвы. Б) Белесым цветом отражаются пятна деградации дерново-подзолистых почв между опорами линии электропередачи

Fig. 1. А) Localization of the studied part of sanitary protection zone of extra high voltage overhead lines (satellite image was published in 2016, Map Google®). The page inset shows the nearest settlements. The lines in the center of sanitary protection zone are the distance between supports (from left to right – 340, 368 m). The black line is the trench position, where the thickness of soil horizons was measured. The whitish spots of sanitary protection zone are degraded soils. Б) The albescent color reflects the spots sod-podzolic soil degradation between transmission towers

на – фактор формы, которая рассчитывается по формуле

$$F = \frac{4\pi S}{P^2},$$

где S – площадь объекта; P – периметр объекта.

Фактор формы позволяет оценить, насколько близкими к форме круга являются границы контуров. В идеале при $F=1$ форма контура соответствует кругу, для треугольника $F=0,64$. Чем более вытянута форма, чем более изрезана граница, тем меньше значение F .

Каждый контур индексирован и занесен в базу данных. Используются характеристики контура, такие как площадь, периметр, относительные координаты контура, тип (подтип) почвы, степень нарушения, фактор формы. Общее количество проиндексированных контуров почв разной степени нарушения в базе данных составляет $N = 511$.

На предварительном этапе анализа случайной величины площади и периметров контуров выявлено, что их распределение имеет ненормальный, а точнее, степенной тип с тяжелым хвостом в направлении максимальных значений. Поэтому для статистической характеристики использованы структурные характеристики и непараметрические виды анализа, такие как U -критерий Манна–Уитни и критерий Краскела–Уоллиса.

В качестве топографической основы территории СЗЗ использован фрагмент аэрокосмического снимка Google 2016 г., находящийся в свободном доступе. Построение карт и статистическая обработка полученных материалов проведены с помощью AUTOCAD, STATISTICA.

Результаты и обсуждения

При строительстве и эксплуатации ВЛ СВН (500 кВ) почвы просеки подвергаются воздействию агрегатов и ходовых систем тяжелой техники с формированием антропогенных биогеоценозов [8]. На поверхности почв просеки наблюдаются колеи, пятна с отсутствием гумусового горизонта или его малой мощностью и насыпные слои грунта. С возрастом СЗЗ рытвины выравниваются, покрываются дерном и зарастают травянистой растительностью так, что выделение границ нарушенных участков становится затруднительным. Образовавшиеся эмбриоземы скрывают нарушенные участки, поэтому исследование проводится в весенний период, когда отсутствует травянистая растительность. В это время возможно визуально выявить нарушения сложения почв по характерной форме рельефа.

Неоднородность почвенного покрова СЗЗ линии электропередачи в лесной зоне, складывается из двух вариантов: 1) антропогенного нарушения сложения почв, 2) унаследованного от парцеллярной структуры лесного биоценоза. Первый вариант в структуре почвенного покрова формирует комплексы и мозаики, обусловленные плановыми и случайными компонентами. Первый компо-

нент – это участки под опорами ВЛ СВН и дороги для доставки оборудования и вывоза древесины, место стоянки трактора при подвеске проводов на опоры. Второй компонент – места раскорчевки крупных пней, трелёвки, волочения стволов, складирования нетоварной древесины. Вторым вариантом явно не проявляется, но при детальном обследовании растительности и почв обнаруживаются следы произрастания деревьев на территории СЗЗ, которые возникли до строительства объекта.

В морфологии антропогенных почв выявлен характерный набор нарушений сложения с потерей частей профиля. Классификация антропогенных почв основывается на характере этих нарушений и преобладании диагностированного типа/подтипа почв.

Выделяются следующие типы антропогенных почв на основе классификации почв 2004 г. (табл. 1).

Абраземы – почвы, потерявшие весь или часть своего профиля, но обязательно верхние диагностические горизонты, присутствующие в типе фоновых почв.

Стратолиты – насыпные слои из подстилающих пород, отсутствие погребенных почв.

Стратоземы – почвы с насыпным слоем более 40 см, присутствуют остатки погребенных почв.

Эмбриоземы – молодые почвы, формирующиеся на поверхности антропогенных почв.

Глубина срезания верхнего слоя почвы может быть недостаточной для образования абразема и остаются части верхнего слоя, позволяющие почву отнести к текстурно-дифференцированному отделу. Такие почвы рассматриваются нами как резектоземы в типе естественных почв, в данном случае текстурно-дифференцированных дерново-подзолистых. Следовательно, резектоземы – естественные почвы, у которых частично или полностью срезан верхний, но сохранен диагностический (элювиальный) горизонт. Резектоземы разделены на две подгруппы: слабонарушенные дерново-подзолистые (резектозем 1) и средненарушенные дерново-подзолистые (резектозем 2). Резектозем 1 потерял только часть гумусового горизонта и отличается от фоновых почв отсутствием под дерновым слоем части гумусового горизонта. Мощность гумусового горизонта фоновых почв колеблется в пределах 11–14 см, что больше в 2 раза относительно резектозема 1. Резектозем 2 – это почва, у которой срезан полностью гумусовый горизонт и на поверхности экспонируется элювиальный горизонт.

В плане они случайно разбросаны по территории пятнами, но иногда создают комплексы с абраземами по краю СЗЗ.

Почти во всех антропогенных почвах формируется дерновый горизонт в виде рыхлого слоя, насыщенного корнями травянистых растений, но с отсутствием серой прокраски внутри структурных отделностей (кроме Resectozem 1). Степень нарушения профиля почв положительно коррелирует со степенью деградации.

Таблица 1. Таксономическая схема разделов антропогенных почв

Table 1. Taxonomic scheme of anthropogenic soils divisions

Таксон Taxon	Деление Division		
Стол Stem	Постлитогенный Postlithogenic	Синлитогенный Synlithogenic	Непочвенное образование Notsoil
Отдел Order	1. Абразем/Abrazem 2. Текстурно-дифференцированные Textural differentiated	Стратозем Stratozem	Стратолит Stratolit
Тип Type	1. Абразем/Abrazem 2. Дерново-подзолистая Sod-podzolic		
Под-тип Subtyp	1. Абразем/ Abrazem 2. Слабонарушенные дерново-подзолистые (резектозем 1) Resectozem 1 gray 3. Средненарушенные дерново-подзолистые (резектозем 2) Resectozem 2 light-gray	1. Стратозем на бурых суглинках Light-Gray stratozem	1. Стратолит буросуглинистый Brown loams stratolit 2. Стратолит на древней коре Old core stratolit

Слабонарушенная дерново-подзолистая почва (Resectozem 1) имеет объемную массу около 1 г/см³ (табл. 2). Наличие остатков гумусового горизонта и серой окраски структурных отдельностей способствуют их быстрому восстановлению до естественной мощности и сокращению площадей от момента нарушения к моменту проведения наблюдений. Мощность дернового слоя соответствует фоновым почвам – 5–7 см, но под плотной дерниной отсутствует рыхлая часть гумусового горизонта, что наряду с малой мощностью является диагностическим признаком для их выделения в подтип нарушенных почв в полевых условиях. Они занимают небольшую площадь – 0,2 га (2,2 %). После строительства ВЛ СВН этих почв на территории было много, но к моменту проведения почвен-

ной съемки большая их часть была полностью восстановлена естественным способом. Процент от общего количества нарушенных участков (N) составляет 13,5 %, средний размер нарушения – 30 м², встречаемость – 7,2 шт./га. Степень деградации почв – наименьшая (слабонарушенные), что незначительно отражается на мощности травостоя и проективном покрытии растительности.

Насыпные почвы образованы при выемке грунта под опоры, и их присутствие связано с насыпными грунтами. Выделено два подтипа стратолитов: на бурых суглинках и древней коре выветривания, которая залегает под отложениями четвертичных бурых суглинков. Древняя кора выветривания имеет остатки желтоземов и плинтитов, обнаруженных в разрезе под четвертичными суглинками, которые могут образовываться при влажном тропическом климате. Предположительно она имеет верхний олигоценный возраст, так как в это время в Западной Сибири климат соответствовал этим условиям [13]. Однако какие-либо прямые палеонтологические подтверждения этому предположению отсутствуют. На изученном участке располагаются 2 опоры. Под опорой, расположенной выше по склону, стратолиты сформированы из бурых тяжелых суглинков, а в средней части склона стратолиты – из палевых и желтых суглинков древней коры выветривания. Статоземы оконтуривают участки стратолитов под опорами, встречаются также по краю просеки, куда стаскивалась нетоварная древесина. Активно процесс восстановления почв протекает на насыпных грунтах, независимо от материнских пород. Объемная масса дернового слоя эмбриозема насыпных почв составляет 0,82–0,99 г/см³. Мощность сформированного гумусового горизонта изменяется в пределах 5–7 см, достигая в отдельных случаях 12 см. Насыпные почвы концентрируются вблизи опор и занимают незначительную площадь, равную 0,4 га (3,9 %). В процентном отношении их количество составля-

Таблица 2. Состав и показатели антропогенных почв, характеристики выделенных участков в пересчете на 1 км трассы ВЛ СВН площади (га), процент от общей площади (%), количество участков (шт.), средний размер площади (м²), частота встречаемости (шт./га)

Table 2. Structure and quantitative characteristic of anthropogenic soils per 1 km of the trace depending on the area (ha), the percentage of the total area (%), the number (N), the average area of one site (m²), occurrence (N/ha)

Типы почв Soil type	Мощность, см Strength, cm	Объемная масса, г/Кб.см Density, g per cubic centimeter	Площадь, га Area, (ha)	Процент от общей площади 9,6 га (%) Percentage of the total area 9,6 ha	Процент от N Percentage of N	Средний размер участка, м ² Average size of one site, m ²	Встречаемость шт./га Occurrence (N/ha)	Степень деградации Degradation degree
Резектозем 1 Resectozem 1	5–7	1	0,2	2,2	13,5	30	7,2	Слабо деградированные Slightly degraded
Насыпные почвы Mound soils	5–7	0,82–0,99	0,4	3,9	10,8	70	5,7	Средне деградированные Mean degraded
Резектозем 2 Resectozem 2	1–3	0,76–1,01	1,1	11,0	32,7	64	17,3	Средне деградированные Mean degraded
Абразем Abrazems	2–5	0,95–1,47	1,0	10,4	43,1	45	22,8	Сильно деградированные Strongly degraded

ют 10,8 %. Они имеют максимальный среднюю площадь участка (70 м²). Число же участков на единицу площади СЗЗ минимально (5,7 экз./га). То есть насыпные почвы выделяются в виде сравнительно крупных участков, но редких по сравнению с другими типами антропогенных почв. Насыпные почвы активно осваиваются корнями растительности, но так как естественная почва заменена искусственным грунтом, они отнесены к категории сильно деградированных почв.

У резектозема 2 объемная масса верхнего слоя почвы колеблется в пределах 0,76–1,01 г/см³. Восстановление дернового слоя замедлено в силу того, что экспонируется элювиальный горизонт, обедненный химическими элементами питания растений, обогащенный SiO₂, имеющий листоватую слоистую структуру, что свойственно типу дерново-подзолистых почв. Мощность сформированного дернового слоя эмбриозема составляет 1–3 см. Резектозем 2 занимает наибольшую площадь, составляющую 1,1 га (11 %). Процент от общего количества равен 32,7, что существенно больше, чем у насыпных почв и резектоземов 1. Встречаемость составляет 17,3 шт./га. Размеры среднего участка также велики – 64 га. Встречаемость, отражающая присутствие участков, на 1 га равна 17,3 шт./га. Травостой заметно ниже, чем в предыдущих случаях, что оценивается как средняя деградация.

В абраземе плотность верхнего слоя составляет 0,95–1,47 г/см³. Высокая плотность горизонта ненарушенного сложения препятствует быстрому заселению растительности, что затрудняет естественное восстановление этих почв. Мощность сформированного дернового горизонта эмбриозема изменяется в интервале 3–5 см. Площадь абразема составляет 1 га (10,4 %), процент от общего количества – 43,1 %. Средний размер площади нарушенного участка – 54 м², что ниже, чем у резектоземов 2 и насыпных почв. Встречаемость наиболее высокая (22,8 экз./га) относительно других типов

нарушенных почв. Участки земель СЗЗ с такими почвами считались сильно деградированными, так как в силу высокой плотности очень медленно заселяются растительностью, имеют низкорослый и разреженный травостой.

Под линией электропередачи присутствуют почвы, подвергшиеся многократному проезду ходовых частей техники по одному месту, что привело к образованию колеи, дороги. Треки могут быть образованы ходовыми системами трактора при операции подвески и натяжении проводов воздушной линии. Треки и грунтовые дороги имеют высокую плотность почв (1,20–1,50 г/см³). Они занимают незначительные площади, поэтому их свойства не изучались, но фиксировались при морфологических описаниях почв.

Для практического использования определены группы деградации земель по свойствам поверхностного горизонта (рис. 2): насыпные почвы (стратолиты и стратоземы) являются сильно нарушенными почвами, резектозем 1 определен слаборазрушенной почвой, резектозем 2 – среднеразрушенной, и абразем выделен, как сильнонарушенная почва.

Сравнивая нарушенные участки, датированные 1986 г., при эксплуатационной чистке древесной растительности, с общим фоном антропогенных почв, установили, что площади нарушения земель при строительстве составляют 1,43 га (19,7 %), а эксплуатационные – 0,38 га (5,26 %). Сравнение выборок по размерам площадей нарушенных участков с помощью U-test Манна-Уитни показывает их достоверное различие при $p > 0,95$.

С использованием непараметрического анализа Краскела-Уоллиса установлено, что ректозем 2 и абразем имеют достоверные различия при $p > 0,95$ по размерам площадей участков из-за большой численности выборки относительно группы легко деградированных почв.

Изучена форма контуров антропогенных почв и проведено сравнение по фактору формы основных

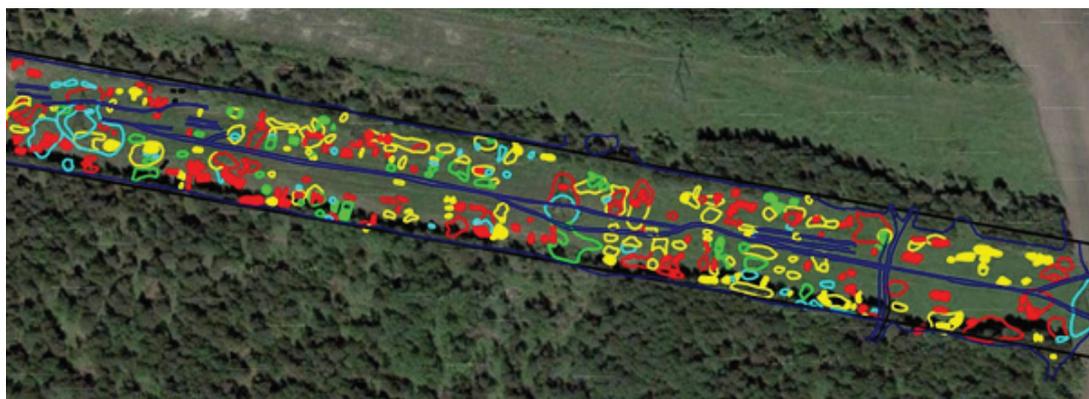


Рис. 2. Пространственное расположение антропогенных почв СЗЗ: голубой линией отображены насыпные почвы; зеленой – слаборазрушенные (резектозем 1); желтой – среднеразрушенные (резектозем 2); красной – сильнонарушенные (абразем); синей – дороги и колеи; полностью закрашены эксплуатационные нарушения; черной линией обозначена граница СЗЗ

Fig. 2. Spatial position of the anthropogenic soils on the SPZ territory: the blue line indicates the mound soils; resectozem 1 is marked by the green line; resectozem 2 is shown in yellow line; the red line indicates abrazems; tracks and dirt roads are in dark blue line, operational soil disturbances are fully painted, the SPZ boundary is marked by the black line

таксонов нарушенных почв СЗЗ. Выявлено, что по форме контура стратоземы достоверно (при $p > 0,95$) отличаются от абраземов. Первые более округлы, а форма вторых более изрезана или близка к треугольной. Формы контуров абраземов и резектоземов не различаются.

Визуальными наблюдениями установлено, что извилистые формы быстро сглаживаются, переходя в овалы, которые сохраняются длительное время. Фактор формы нарушений при строительстве имеет модальное значение 0,8–0,9 при эксплуатации 0,7–0,8. Это говорит о том, что в первом случае преобладают округлые формы, во втором – вытянутые и угловатые. Различия достоверны при $p > 0,95$. По возрасту строительные и эксплуатационные нарушения почв имеют разницу в 20 лет. Если считать, что при строительстве преобладающая форма нарушений схожа с эксплуатационными нарушениями, то наблюдаемые изменения обусловлены естественным восстановлением, что подтверждают визуальные наблюдения.

Степень деградации территории СЗЗ можно оценить на основе критериев нормативных документов, учитывающих глубину нарушения профиля почвы и площадь обнаженной породы [14]. Площадь обнаженной породы при степени деградации 0 составляет 0–2 % от общей площади, при 1 – 3–5 %, 2 – 5–10 %, 3 – 11–25 %, 4 – >25 %. Если подходить объективно, то абразем, хоть и имеет остатки иллювиального горизонта (Вt), но по сути представляет полностью нарушенный почвенный профиль, хоть на экспонируемой поверхности всегда присутствуют остатки вышележащих горизонтов. Если считать абразем, стратолиты и стратоземы уничтожением естественной почвы, суммарная площадь которых составляет 14,3 %, то деградация почвенного покрова СЗЗ ВЛ СВН оценивается третьей степенью при максимально возможной 4.

Биоразнообразие почв СЗЗ не исчерпывается антропогенными почвами, а дополняется естественной неоднородностью почвенного покрова зоны бореальных лесов. Установлено воздействие на почву произрастающими деревьями [15, 16, 17]. Показано, что почва сохраняет следы предыдущих этапов своего развития (почво-память). В русскоязычной литературе участок в пределах проекции кроны, подверженный влиянию роста корневой шейки и корней, называется парцеллой. Следы произрастания деревьев обнаружены в почвах СЗЗ через 20 лет после строительства ВЛ СВН. Этот факт статистически достоверно выявлен при сравнении площади сечения ячеи сети трещин элювиального горизонта [18]. Оказывается, что она больше в зоне воздействия произраставшего в ней ранее дерева. Обнаружено, что в рельефе поверхности почвы СЗЗ отражается форма крупных корней лесной парцеллы. Проведенные исследования земель СЗЗ позволяют определить общую усадку объема почвы на ней, произошедшую после лесной стадии развития [19]. Она обусловлена разложением

древесных корней и уплотнением освободившегося объема.

Таким образом, неоднородность почвенного покрова территории СЗЗ, формирующаяся в бореальной зоне лесов, очень высока и определяется естественными и антропогенными факторами. Отражение феноменов деградации и естественного восстановления земель СЗЗ ВЛ СВН на основе существующих диагностических методов и классификационных схем затруднено, но в принципе возможно с достаточно высокой степенью детализации пространственного расположения, размеров и формы контуров. Успех детального картографирования деградированных земель стал возможен после использования вейвлет-анализа неоднородности почвенного покрова на разных масштабах исследования [12, 20], что позволяет определить характеристические размеры неоднородности антропогенного почвенного покрова.

Следующим шагом необходимо установить нормативы по составу и количеству типов антропогенных почв, образующихся при строительстве и эксплуатации ВЛ СВН, а также степень деградации земель, после которой рекультивация становится обязательной, независимо от срока давности строительства объектов энергетики.

Выводы

На территории санитарно-защитной зоны антропогенное воздействие накапливается на естественную неоднородность лесных почв, существовавшую до строительства ВЛ СВН. Технологические процессы (установка опор, подвеска проводов, расчистка СЗЗ от растительности) приводят к созданию различных по масштабу, возрасту и происхождению неоднородностей почвенного покрова, что создает мелкоконтурность антропогенного почвенного покрова и является основой биоразнообразия почв.

Показано, что возможно выделение 4-х основных типов/подтипов антропогенных почв СЗЗ: стратоземы и стратолиты (синлитогенный ствол), резектозем (1) дерново-подзолистой почвы и резектозем (2) дерново-подзолистой почвы (постлитогенный ствол, текстурно-дифференцированный отдел, тип дерново-подзолистых почв), абразем (постлитогенный ствол).

Установлено, что биоразнообразие почв СЗЗ включает: насыпные почвы – 2,2 %, резектозем (1) – 3,9 %, резектозем (2) – 11 %, абразем – 10 %. Площади антропогенно-измененных почв нарушенного сложения составляют 27,5 % от изученной площади. Площадь сильно деградированных земель составляет 14,3 %, что оценивается, как 3-я степень деградации земель при градациях от 0 до 4.

Распределение размеров площадей участков антропогенно-измененных почв имеет степенную форму с длинными хвостами в сторону максимальных значений. Сравнение распределения площадей участков по типам антропогенных почв показывает, что существуют достоверные различия между абраземом и резектоземом 2 ($p > 0,95$).

По фактору формы насыпные почвы достоверно более округлые ($p > 0,95$), чем участки абразивов. Нарушения, образовавшиеся при строительстве, более обширны и разнообразны по форме, чем нарушения, образовавшиеся в период эксплуатации (при $p > 0,95$). Показано, что за период в 20 лет форма контуров антропогенных почв от изрезанной и треугольной изменяется в направлении к округлой форме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate change and land degradation: Bridging knowledge and stakeholders. The 3rd UNCCD scientific conference. – Mexico, Cancun, 09–12 March 2015. URL: http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/2015_Climate_LD_Outcomes_CST_Conf_ENG.pdf (дата обращения: 30.05.2016).
2. Mapping of soil properties and land degradation risk in Africa using MODIS reflectance / Vägen a Tor-G., L.A. Winowiecki, J.E. Tondoh, L.T. Desta, T. Gumbricht // *Geoderma*. – 1 February 2016. – V. 263. – P. 216–225. DOI:10.1016/j.geoderma.2015.06.023.
3. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2004. – 341 с.
4. Podgorodenka natural-technogenic soil catena: Morphological, physicochemical, and chemical properties / A.M. Derbentseva, A.V. Chernovalova, M.M. Surzhik, O.V. Nesterova, V.A. Semal, N.A. Ribachuk, L.P. Mayorova // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2015. – V. 8. – P. 99–111.
5. Volungevičius J., Skorupskas R. Classification of anthropogenic soil transformation // *Geologija*. – 2011. – V. 53. – № 4 (76). – P. 165–177.
6. CLEAN SOIL as a perspective method of remediation of oil-contaminated soils under existing infrastructure / Yu.V. Kozhlov, E.D. Lapshina, D.I. Khoroshev, A.V. Zakharchenko, M.G. Kulikov, D.M. Yarkov // *Siberian Ecological Journal*. – 2010. – V. 3. – Iss. 3. – P. 292–298. DOI: 10.1134/S1995425510030069.
7. Львов Ю.А. Экологические изменения при строительстве и эксплуатации воздушных линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения // *Электропередачи сверхвысокого напряжения и экология: сборник научных трудов*. – М.: ЭНИН, 1986. – С. 48–62.
8. Каскевич Э.П., Плеханов Г.Ф. Экологическая характеристика электропередач сверх- и ультравысокого напряжения // *AC Power Delivery at Long and Very Long Distances: International Scientific and Technical Conference*. – Новосибирск, 15–19 Сентября, 2003. – Новосибирск: Изд-во СИБНИИЭ, 2003. – Т. 1. – С. 311–322.
9. Карташев А.Г. Электромагнитная экология. – Томск: ТГУ, 2000. – 276 с.
10. Zakharchenko A.V., Zakharchenko N.V. Three-Dimensional Surface Morphometry of Soil Horizons in Field Studies // *Eurasian*

Почвенный покров бореальных лесов в санитарно-защитных зонах воздушных линий электропередачи, эксплуатирующийся с прошлого века, имеет высокую степень деградации земель, поэтому для ускорения регенерации нуждается в проведении стандартных мероприятий биологической рекультивации, таких как рыхление, подсев многолетних трав.

- Soil Science. – 2006. – V. 39. – № 2. – P. 134–140. DOI: 10.1134/S1064229306020037.
11. Кирпотин С.Н. К изучению восстановительных процессов на просеках ВЛ СВН. Охрана и рациональное использование природных ресурсов Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1985. – С. 92.
12. Захарченко А.В., Алексеев В.И., Ипатова Д.В. Иерархическая концепция неоднородности почв и планирование масштаба исследования // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2016. – Т. 327. – № 4. – С. 149–163.
13. Волкова В.С. Стратиграфия и тренд палеотемператур в палеогене и неогене Западной Сибири (по данным палинологии) // *Геология и геофизика*. – 2011. – Т. 52. – № 7. – С. 906–915.
14. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель: письмо от 29 июля 1994 г. № 3–14–2/1139 / Комитет Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству.
15. Phillips J.D., Marion D.A. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas // *Geoderma*. – 2005. – V. 124. – P. 73–89. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.04.004.
16. Phillips J.D., Marion D.A. Pedological memory in forest soil development // *For. Ecol. Manage.* – 2004. – V. 188. – P. 363–380.
17. Soil mixing and genesis as affected by tree uprooting in three temperate forests / P. Šamonil, P. Daněk, R.J. Schaetzl, I. Vašíčková, M. Valtera // *European Journal of Soil Science*. – May 2015. – V. 66. – P. 589–603. DOI: 10.1111/ejss.12245
18. Захарченко А.В. Характеристики трещинной сети в зависимости от экологических условий земель лесных и линий электропередачи // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2014. – № 8. – С. 392–397.
19. Захарченко А.В. Пространственная сопряженность морфологических поверхностей почв // *Вестник ТГУ*. – 2007. – № 300–3. – С. 146–152.
20. Geopedology. An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies / J.A. Zinck, G. Metternicht, G. Bocco, H.F. del Valle. – Switzerland: Springer International publishing, 2016. 549 p. DOI: 10.1007/978-3-319-19159-1_1.

Поступила 27.06.2016 г.

Информация об авторах

Захарченко А.В., доктор биологических наук, профессор кафедры общей геологии и землеустройства Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Пасько О.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общей геологии и землеустройства Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Ипатова Д.В., студентка кафедры общей геологии и землеустройства Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Рудина Т.В., аспирант кафедры почвоведения и экологии почв, младший научный сотрудник лаборатории БИО-ГЕО-КЛИМ Национального исследовательского Томского государственного университета.

UDC 631.474

ANTHROPOGENIC SOILS ON FOREST LAND OF SANITARY PROTECTION ZONE OF EXTRA HIGH VOLTAGE OVERHEAD LINES

Alexandr V. Zakharchenko¹,

zakh@ptu.ru

Olga A. Pasko¹,

oap@sibmail.com

Darya V. Ipatova¹,

ipatovadasha@gmail.com

Tatiana V. Raudina²,

tanya_raud@mail.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance. Anthropogenic soils, which have lost their natural state, are the poorly known objects. The facts of soil degradation are determined on the forest lands under the overhead transmission line in the sanitary protection zone. These facts are not taken into account by designers of the objects. It is caused by uprooting of woody vegetation. Taking into account the length of power lines on the forest land, the effects can be global.

The main aim of the study is diagnostics and mapping of soils in a zone of the boreal forest on lands of sanitary protection zone formed at construction and operation of objects.

The object of the study is the anthropogenic disturbed soil cover of the sanitary protection zone of a transmission line.

The methods used in the study. On the basis of calculations of the soil heterogeneity hierarchical structure in sanitary protection zone, the observation grid of anthropogenic soils with 40 m distance between the nodes was recommended. The soil body boundaries were identified at the scale 1:1000. Sample size was 320 sites. The authors have used nonparametric types of analysis on the basis of a STATISTICA package.

The results. The authors analyzed soils biodiversity and defined the extent of lands degradation in a sanitary protection zone; considered the space characteristics of sites of anthropogenic soils.

Conclusion. The anthropogenic impact on the lands of sanitary protection zone results in a development of soil cover degradation of different scale, age and origin. It is possible to identify 4 main types of anthropogenic soils of the sanitary protection zone, namely: 1) filled soils (stratozems and stratolit); 2) resectozem 1 of umbric albeluvisols; 3) resectozem 2 of umbric albeluvisols; 4) abrazem. The disturbed areas are superimposed on the natural heterogeneity of the remaining forest soils. It was found that pedodiversity of sanitary protection zone includes 2,2 % of filled soils, 3,9 % of resectozems 1 of umbric albeluvisols, 11 % of resectozems 2 of umbric albeluvisols and 10,4 % of abrazems. The average area of one site is maximum for filled soils (69,5 m²). The anthropogenic soils area is 27,5 % of the area sanitary protection zone. The extent of soil cover degradation is 3 out of 5. During the construction the soil damages are more extensive and more shape-varied, than during the operation period. Comparison of disturbance areas on anthropogenic soil types allows revealing significant differences between resectozems of umbric albeluvisols 2 and abrazems. According to the form factor the contours of filled soils area are significantly more rounded than the abrazems area. The soil cover is highly degraded and needs rehabilitation.

Key words:

Anthropogenic soils, sod-podzolic with the second humic horizon, degraded lands, pedodiversity, sanitary protection zone, overhead power lines.

REFERENCES

1. Climate change and land degradation: Bridging knowledge and stakeholders. *The 3rd UNCCD scientific conference*. Mexico, Cancun, 09–12 March 2015. Available at: http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/2015_Climate_LD_Outcomes_CST_Conf_ENG.pdf (accessed 10 May 2016).
2. Vågen a Tor-G., Winowiecki L.A., Tondoh J.E., Desta L.T., Gumbrecht T. Mapping of soil properties and land degradation risk in Africa using MODIS reflectance. *Geoderma*, 1 February 2016, vol. 263, pp. 216–225. DOI:10.1016/j.geoderma.2015.06.023.
3. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk, Oykumena Publ., 2004. 341 p.
4. Derbentseva A.M., Chernovalova A.V., Surzhik M.M., Nesterova O.V., Semal V.A., Ribachuk N.A., Mayorova L.P. Podgorodka natural-technogenic soil catena: Morphological, physico-mechanical, and chemical properties. *Contemporary Problems of Ecology*, 2015, vol. 8, pp. 99–111.
5. Volungevičius J., Skorupskas R. Classification of anthropogenic soil transformation. *Geologija*, 2011, vol. 53, no. 4 (76), pp. 165–177.
6. Korzhov Yu.V., Lapshina E.D., Khoroshev D.I., Zakharchenko A.V., Kul'kov M.G., Yarkov D.M. CLEAN SOIL as a perspective method of remediation of oil-contaminated soils under existing

- infrastructure. *Siberian Ecological Journal*, 2010, vol. 3, Iss. 3, pp. 292–298. DOI: 10.1134/S1995425510030069.
7. Lvov Yu.A. Ekologicheskie izmeneniya pri stroitelstve i ekspluatatsii vozduzhnykh liniy elektropredachi vysokogo i sverkhvysokogo napryazheniya [Ecological changes when constructing and operation of overhead high- and extra-voltage lines]. *Elektropredachi sverkhvysokogo napryazheniya i ekologiya: sbornik nauchnykh trudov* [Power transmission of extra-high voltage and ecology: collected papers]. Moscow, ENIN Press, 1986. pp. 48–62.
 8. Kaskevich E.P., Plekhanov G.F. Ekologicheskaya kharakteristika elektropredach sverkh- i ultravysokogo napryazheniya [Ecological characteristic of power transmission with extra-high and ultra-high voltage]. *AC Power Delivery at Long and Very Long Distances. International Scientific and Technical Conference*. Novosibirsk, Russia, September 15–19, 2003. Novosibirsk, SIBNIE Publ., 2003. Vol. 1, pp. 311–322.
 9. Kartashev A.G. *Elektromagnitnaya ekologiya* [Electromagnetic ecology]. Tomsk, TGU Press, 2000. 276 p.
 10. Zakharchenko A.V., Zakharchenko N.V. Three-Dimensional Surface Morphometry of Soil Horizons in Field Studies. *Eurasian Soil Science*, 2006, vol. 39, no. 2, pp. 134–140. DOI: 10.1134/S1064229306020037.
 11. Kirpotin S.N. K izucheniyu vosstanovitelnykh protsessov na prosekakh VL SVN [Studying the reduction processes on EHV HV]. *Okhrana i ratsionalnoe ispolzovanie prirodnnykh resursov Zapadnoy Sibiri* [Conservation and rational use of natural resources of Western Siberia]. Tomsk, TGU Press, 1985. p. 92.
 12. Zakharchenko A.V., Alekseev V.I., Ipatova D.V. Hierarchical concept of soil heterogeneity and planning the scale of investigations. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 4, pp. 149–163. In Rus.
 13. Volkova V.S. Stratigrafiya i trend paleotemperatur v paleogene i neogene Zapadnoy Sibiri (po dannym palinologii) [Stratigraphy and trend of paleotemperatures in Paleogene and Neogene of Western Siberia]. *Geologiya i geofizika*, 2011, vol. 52, no. 7, pp. 906–915.
 14. *Metodika opredeleniya razmerov ushcherba ot degradatsii pochvy i zemel: pismo ot 29 iyulya 1994 g. № 3–14–2/1139* [Technique of determining the extent of damage from soil and land degradation: the letter from 29 July 1994, no. 3–14–2/1139]. The Committee of the Russian Federation on Natural Resources and Land Management.
 15. Phillips J.D., Marion D.A. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma*, 2005, vol. 124, pp. 73–89. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.04.004.
 16. Phillips J.D., Marion D.A. Pedological memory in forest soil development. *Forest Ecology and Management*, 2004. vol. 188, pp. 363–380.
 17. Šamonil P., Daněk P., Schaetzl R.J., Vašíčková I., Valtera M. Soil mixing and genesis as affected by tree uprooting in three temperate forests. *European Journal of Soil Science*, May 2015, vol. 66, pp. 589–603. DOI: 10.1111/ejss.12245
 18. Zakharchenko A.V. Kharakteristiki treshchinnoy seti v zavisimosti ot ekologicheskikh uslovy zemel lesnykh i liny elektropredachi [Characteristics of fracture network depending onecological state of forest lands and power transmission lines]. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovany*, 2014, no. 8, pp. 392–397.
 19. Zakharchenko A.V. Spatial conjugation of soils morphological surfaces. *Tomsk State University Journal*, 2007, no. 300 (II), pp. 139–145. In Rus.
 20. Zinck J.A., Metternicht G., Bocco G., Del Valle H.F. *Geopedology. An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Switzerland, Springer International publishing, 2016. 549 p. DOI: 10.1007/978-3-319-19159-1_1.

Received: 27 June 2016.

Information about the authors

Alexandr V. Zakharchenko, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Olga A. Pasko, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Darya V. Ipatova, student, National Research Tomsk Polytechnic University.

Tatiana V. Raudina, junior researcher of BIO-GEO-CLIM Laboratory, National Research Tomsk State University.