

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕЩИННОЙ СЕТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНЫХ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

**Захарченко А.В.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,  
e-mail: avzakh@gmail.com*

Трещинная сеть присутствует в суглинистых почвах различных природных зон. Характеристики её варьируют в зависимости от физических физико-химических свойств почв и климатических факторов. Она представляет собой миграционные каналы, по которым влага, растворенные в ней химические вещества, коллоиды, споры могут перемещаться, как радиально, так и по вертикали с большей скоростью, чем в почве без её присутствия. В статье рассматриваются закономерности характеристик трещинной сети, мощности элювиального горизонта в зависимости от изменения экологических условий. Проведен сравнительный анализ влажности и объемной массы материала трещин и центральных частей отдельности. Рассмотрены проблемы взаимодействия древесной растительности и трещинной сети, их участие в формировании некоторых морфологических свойств почв. Основной причиной высокой дисперсии мощности элювиального горизонта под кронами и следах произрастания сосны являются механические смещения грунта при росте корней. Влияния переменного электрического поля линии электропередачи на характеристики трещинной сети не выявлено.

**Ключевые слова:** трещинная сеть, дерново-подзолистая почва, морфология почв, влажность, пористость, лесные почвы, линии электропередачи

## CHARACTERISTICS OF CRACKS NETWORK IN DEPENDING ON ECOLOGY CONDITIONS FOREST LAND BORDERS AND POWER LINES

**Zakharchenko A.V.**

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: zakh@tpu.ru*

Vertical crack network exists in the loamy soils of various natural zones. Its Characteristics vary natural physical and chemical properties of soil and climatic factors. Studied its hydrodynamic and physical properties, but its effects on soil processes are more diverse. Size of the network depend on the physical, physico-chemical properties of soil and climatic factors. It is a migration channels by which moisture dissolved therein chemicals colloids, spores. Moisture can be moved both radially and vertically at a speed greater than soil without its presence. The article examines patterns of change in the depth and length of the mesh size of fracture networks, as well as studied the effect of changes in environmental conditions in the cross sectional area of the cells crack network. Determined power changes eluvial horizon in the presence of cracks. Was used analysis of variance of environmental conditions on humidity and volumetric weight of the material cracks and central parts separately. The interaction of fracture network of soil and roots of woody vegetation. The reason for the increased dispersion power eluvial horizon under crown of a tree and follow the growth of pine are mechanical displacement of the soil during the growth of roots. The effects of the electric field of the Power lines on the characteristics crack network is not detected.

**Keywords:** crack network, sod-podzolic soil, morphology, moisture, porosity, forest soils, power lines

Вертикальная трещинная сеть (ВТС) принимает активное участие при формировании морфологического строения почвы, что делает её полноправным участником почвообразовательного процесса. ВТС разделяет почвенное тело на части – отдельности, которые индивидуальны по строению и свойствам. Структурная организация элементарного почвенного ареала может быть определена, как совокупность элементарных отдельностей (ячеек ВТС), которые могут быть тиражированы симметричным отображением.

Трещинная сеть почв вызывает интерес, благодаря идеям М.А. Глазовской [2]. По её мнению часть CO<sub>2</sub> атмосферы выводится из круговорота в виде гумусовых веществ, мигрирующих по вертикальным трещинам вниз в подпочву, где происходит фоссилизация органики на длительное время в ин-

тервале глубин 1-2 м. Трещины представляются, как артерии, способствующие более быстрому транзиту вещества, как в радиальном внутри почвы, так и вертикальном направлениях из почвы в подпочву.

Целью работы является пространственная характеристика вертикальной трещинной сети, влажности и объемной массы материала трещин дерново-подзолистых почв в зависимости от экологической ситуации.

Исходя из ранее проведенных исследований [5, 6, 8], ожидается, что на достаточно ровном участке будет выявлено различие характеристик трещинной сети, влияние ВТС на гидрологию элювиального слоя в различных экологических условиях границы леса и просеки линии электропередачи. Предполагается, что токи утечки воздушной линии электропередачи сверхвысокого напряжения (ВЛ СВН) вызовут

существенное снижение влажности почв за счет дополнительного нагрева и испарения особенно в трещинном материале, что должно выявиться даже на небольшой по объему выборке.

### Материалы и методы исследования

Исследования проведены на просеке ВЛ СВН 500 кВ, направленной с востока на запад. Возраст ВЛ СВН на момент проведения исследования 13 лет [4]. Земля под ВЛ СВН находится в санитарной зоне отчуждения шириной 60 м, но используется фермерами для проезда, выпаса домашней скотины и сенокосения. В одном створе проложены две ВЛ СВН: северная – в 1967 г., а южная – в 1986 г.

Место исследования географически располагается на склоне Арчекаского кряжа восточной экспозиции. По данным геологов территория тектонически активна и воздымается, о чем свидетельствует спрямленное русло р. Алчедат и его врезка в дно долины на глубину до 3,5 м. Река Алчедат горного типа с перекатами и плесами.

Район исследований относят к Мариинско-Ачинскому почвенному округу расчлененной лесостепи предгорий Кузнецкого Алатау. Административная принадлежность – Ижморский район Кемеровской области, Воскресенское поселение, п. Ломачевка.

На просеке сверху вниз по макросклону кряжа наблюдаются черноземно-луговые, серые лесные, дерново-подзолистые почвы, в нижней части – слабо-развитые дерновые и, затем, аллювиальные дерновые почвы. Изученные дерново-подзолистые почвы азональны, и в виде полосы располагаются на пологой средней части склона Арчекаского кряжа [6, 9]. Зональные почвы находятся в плакорном положении – это темно-серые и лугово-черноземные. Морфология этих почв, химические и физические свойства достаточно подробно изучены [3, 5].

Объектом исследования является трещинная сеть элювиального горизонта (Е1). В нем отчетливо проявляется рисунок ВТС в виде серых или белесых секущих горизонт вертикальных плоскостей. Вертикальная трещинная сеть название достаточно условное, так как в открытом виде их можно наблюдать только в очень сухой сезон на хорошо прогреваемых участках (вне леса). ВТС заполнена трещинным материалом (ТМ), имеющим состав, структуру и строение отличное от того, что наблюдается вне трещины. Эти морфологические различия проявляется по цвету, структуре, плотности, иногда влажности. По структуре минеральный материал трещин более пористый и отлагается на стенках в виде вертикальных плоских и тонких слоев (менее 1 мм). Трещинная сеть разделяется на ячейки – отдельности трещинной сети (ОТС).

Морфометрическая обработка горизонтальных срезов дерново-подзолистых почв впервые проведены В.И. Бондарь, М.Н. Строгонова [1] в Малинском лесничестве Центрального лесного заповедника. Авторы с удивлением констатировали, что почвенные горизонты не горизонтальны, а имеют сложную форму. На основе горизонтальных срезов показано, что морфы верхних горизонтов проникают глубоко вниз, морфы нижних можно обнаружить уже на глубине 10-15 см.

Кроме того, границы горизонтов имеют наклон по отношению к поверхности почвы. Для выяснения

этих обстоятельств использован метод последовательных вертикальных срезов с шагом 5 см [7]. Показано, что языки почвенных горизонтов по положению привязаны к трещинам элювиального горизонта, поэтому формы границ соседних горизонтов высокой долей вероятности коррелируют.

Для изучения влияния экологической обстановки на размеры ВТС заложена трансекта длиной 29 м, которая начинается вблизи ствола сосны, пересекает её подкороновое пространство. Сосна выбрана диаметром 80 см с проекцией кроны 5 м. Далее, располагается молодой осиновый лес (6 м), экотон (8 м), след парцеллы сосны (5 м) и центральную часть просеки (5 м). Трансекта захватывает лес, пересекает северную часть просеки в направлении крайнего провода ВЛ СВН, где она и заканчивается.

В элювиальном слое, где ВТС наиболее ярко выражена, закладывается горизонтальный срез шириной 50 см. ВТС зарисовывается пантографом. В эксперименте В.И. Бондарь, М.Н. Строгоновой [1] ширина среза равнялась 1 м, но при ширине больше 50 см начинает сказываться наклон слоев почвы, что приводит к появлению на горизонтальном срезе Е1 фрагментов горизонтов ЕВТ и ВТ, или АУ. Широкий срез может по краям уйти в нижележащие или выше лежащие слои, а методически предпочтительно отбирать пробы внутри одного горизонта, поэтому ширина сокращена вдвое (50 см). Горизонтальный срез проводится лопатой со стороны предварительно выкопанной траншеи. Горизонтальность поверхности проверяется уровнем, неровности зачищаются ножом.

На каждом метре трансекты отбираются 3 пробы в области трещин и 3 пробы в центре отдельности. Результаты усредняются. При отборе в центре отдельности выбираются места, где нет крупных червоточин. Отбор трещинного материала проводится на стыках 2-3 трещин. Пробы ненарушенного сложения отбираются кольцом диаметром 4 см и высота 4 см. Материал переносится в алюминиевые бюксы с последующим высушиванием при 110 °С и определением объемной массы (г/см<sup>3</sup>) и весовой влажности (%). Отбор проводится в период с середины по конец июля.

Мощность Е1 замеряется в 4 точках (0, 25 см, 50 см, 75 см) на каждом метре, значения усредняются на метр длины. Трещинная сеть зарисовывается пантографом. Площадь отдельностей определяется методом палетки на рисунках.

Переменные электромагнитные поля (Пе ЭМП) оказывают влияние на некоторые экологические характеристики [10], поэтому проведен сравнительный анализ влияние этого фактора на содержание влаги в почве в условиях просеки ВЛ СВН.

Варьирование показателей изменяется независимо от экологических факторов, что позволяет использовать однофакторную дисперсионную модель ANOVO.

### Результаты исследования и их обсуждение

Эксперимент Бондарь В.И., Строгоновой М.Н. [1] был повторно проведен на дерново-подзолистых почвах в районе пос. Ломачевка. Общий характер и основные закономерности, установленные ими, подтверждаются. Вдоль трещин верхние го-

ризонты способны проникать глубоко вниз, а центральные части отдельностей подниматься вверх. Каждая отдельность, высекаемая трещинами, различается по мощности горизонтов, что делает неоднородным горизонтальный срез. Каждая отдельность имеет свое морфологическое строение, отличное от окружающих. Вдоль трещин в иллювиальные горизонты проникают корни растений.

Дальнейшие исследования были направлены на выявление пространственной неоднородности почв, обусловленные ВТС. Дисперсионный анализ связывает площадь сечения отдельности (ОТС), мощность горизонта Е1, по которому проводился горизонтальный срез от фактора экологической ситуации (табл. 1).

Произведение площади сечения на мощность характеризует объем ОТС горизонта Е1. Площадь сечения ОТС увеличивается от приствольного участка сосны в направлении к молодому осиновому лесу. Здесь наблюдается максимальная площадь сечения ОТС (более 500 см<sup>2</sup>). Далее, на экотоне площадь сечения ОТС достигает среднего значения (326 см<sup>2</sup>) и снижается в направлении следа произрастания сосны на просеке, достигая минимальных отметок (около 200 см<sup>2</sup>). В дальнейшем наблюдается увеличение площади сечения ОТС на просеке. Маргинальные средние значения укладываются в пределах от 291 см<sup>2</sup> до 594 см<sup>2</sup>. Отмечается реакция снижения размеров ОТС в пределах проекции корни сосны и аналогичное снижение площади отмечается в следе парцеллы сосны на просеке. Пень сосны раскорчеван, но остатки древесины и кора присутствуют, что позволяет след идентифицировать. Уменьшение площади отдельностей вполне закономерно, так как ствол, раскачиваясь, оказывает переменное давление на почву, кроме того, в процессе

роста комля и приствольных корней почва раздвигается, что может приводить к дроблению ОТС.

На данный момент неясно, почему экотон между лесом и просеккой имеет низкие значения площади сечения ОТС. Возможны три причины: 1) перестройка гидротермического режима от лесного типа к луговому, 2) след парцеллы сосны, которую при проведении исследования не заметили, 3) активный рост корней древесной растительности по границе леса, оказывающий давление на почву в краевой зоне в направлении просеки.

Отмечено увеличение мощности горизонта Е1 от приствольного участка сосны в направлении просеки. При значении средней мощности Е1 5,6 см на экотоне (опушке) с вероятностью 0,4 наблюдается её возрастание от значений близких 5,6 см до значений более 7,6 см мощности, характерных для просеки. Существует мнение, что под кроной сосны увеличивается мощность элювиального горизонта. В большинстве случаев это увеличение связывают с выделением кислот из опада хвои и усилением подзолообразования. Следует иметь в виду, что средние и крупные корни проникают в подзолистый горизонт. Корни растут и вытесняют материал этого горизонта, а он должен где-то концентрироваться. В пределах парцеллы сосны развитие корней вызывает вытеснение минеральной массы поверхностных слоев почвы с образованием бугров. В случае гибели дерева, разложившиеся корни замещаются материалом подзолистого горизонта, формируя места с очень большой мощностью Е1, что наблюдалось в следе парцеллы сосны на просеке. В области лесной парцеллы или следа парцеллы на просеке возрастает среднеквадратичное отклонение, что указывает увеличение неоднородности мощности Е1.

**Таблица 1**

Результаты дисперсионного анализа площади сечения ОТС (см<sup>2</sup>), мощности элювиального горизонта Е1 (см) в зависимости от экологической ситуации: 1 – парцелла сосны, 2 – молодая поросль на границе леса, 3 – экотон между лесом и просеккой, 4 – след парцеллы с остатками пня сосны на просеке, 5 – зона вблизи крайнего провода ВЛ СВН

Экологическая ситуация	Среднее	N	Ст. откл.	Дов. инт. (±)	Среднее	N	Std. dev.	Дов. инт. (±)
	S, см <sup>2</sup>	S, см <sup>2</sup>	S, см <sup>2</sup>	S, см <sup>2</sup>	E1, см	E1, см	E1, см	E1, см
1	331.2	5	87.3	108.4	5.3	5	1.4	1.7
2	594.8	6	128.8	135.2	5.4	6	1.2	1.3
3	318.5	8	108.1	90.4	5.7	8	0.6	0.5
4	291.4	5	65.3	81.1	7.2	5	1.2	1.6
5	381.4	5	112.2	139.3	8.0	5	1.1	1.4
All Grps	384.0	29	148.9	56.6	6.2	29	1.5	0.6

Достоверных различий по размерам площади ОТС в зоне действия Пе ЭМП ВЛ СВН не отмечено. В зоне действия ВЛ СВН достоверно больше мощность элювиального горизонта, но эта особенность вызвана тем, что в зоне воздействия Пе ЭМП располагается след произрастания сосны, что предопределяет результат.

Отмечаются достоверные различия по объемной массе между трещинным материалом и центральной частью отдельности элювиального горизонта, достигающие в среднем 0,3 г/см<sup>3</sup> (табл. 2).

Гранулометрический состав примерно одинаков, то трещина имеет большую пористость, чем отдельность. Исходя из того, что для корней растений предпочтительней плотность почвы менее 1 г/см<sup>3</sup>, область трещин всегда будет более благоприятна для развития корней по сравнению с ОТС, особенно в области элювиального горизонта, который более беден элементами питания растений по сравнению с другими элювиальными горизонтами. Можно предположить, что, чем больше будет разница по плотности между трещиной и центром от-

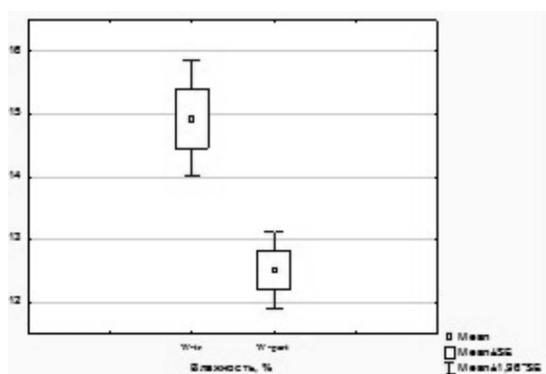
дельности, тем уже по ширине будет язык гумусового горизонта.

Среднее значение содержания влаги в материале ВТС на момент отбора проб почти на всех участках выше по сравнению с ОТС элювиального горизонта (рис. 1, табл. 1). Разница средних значений (ВТС – 14,9%, ОТС – 12,5%) достоверна по критерию Стьюдента при  $p < 0.05$ . По-видимому, трещины связаны с глубинным хранилищем влаги в подпочве, откуда она поступает снизу вверх в область языков гумусового горизонта, где возможно конденсируется в ночное время. Отмечается положительная корреляция Спирмена ( $r = 0,71$  при  $p < 0.05$ ) между влагой ВТС и влагой ОТС. Этот факт указывает на то, что в период почвенной засухи по содержанию влага ВТС и ОТС уравниваются, и в среднем трещина на 2,5% (при  $p < 0.05$ ) более влажная, чем центр отдельности. Так как движение влаги происходит от влажного к сухому, то можно предположить, что влага поступает в горизонт Е1 из подпочвы по трещине, а потом, поступает радиально в отдельность.

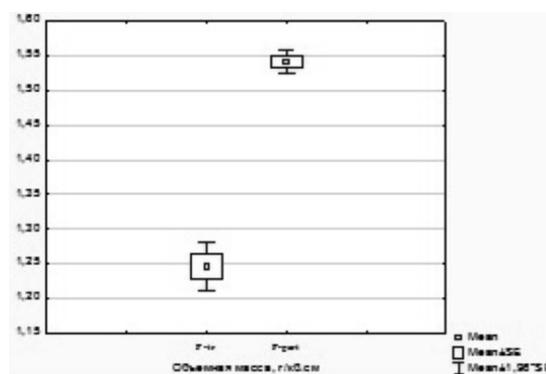
Таблица 2

Средняя объемная масса (г/см<sup>3</sup>), доверительный интервал (г/см<sup>3</sup>), разница средних (г/см<sup>3</sup>) количество измерений (N) ВТС (P-tr) и ОТС (P-part) в зависимости от экологической ситуации (условные обозначения 1-5 см. табл. 1)

Экологическая ситуация	N	Средн. P-tr, г/см <sup>3</sup>	Ст.отк. P-tr, г/см <sup>3</sup>	Довер. Интерв., г/см <sup>3</sup>	Средн. P-part, г/см <sup>3</sup>	Ст.откл. P-part, г/см <sup>3</sup>	Довер. Интерв., г/см <sup>3</sup>	Разница Средн., г/см <sup>3</sup>
1	2	1.31			1.53			0.22
2	3	1.23			1.58			0.35
3	5	1.24	0.07	0.17	1.56	0.06	0.14	0.33
4	4	1.26	0.08	0.26	1.51	0.03	0.11	0.25
5	5	1.25	0.10	0.24	1.55	0.02	0.06	0.31
Среднее	19	1.25	0.07	0.07	1.55	0.04	0.04	0.30



А)



Б)

Рис. 1. Средние значения содержания влаги (А, %) и объемная масса (Б, г/см<sup>3</sup>) ВТС (W-tr, P-tr) и ОТС (W-part, P-part)

Таблица 3

Средняя влажность (%), доверительный интервал (%), разница средних (%), количество измерений (N) ВТС (W-tr) и ОТС (W-part) в зависимости от экологической ситуации (условные обозначения 1-5 см. табл. 1)

Экологическая ситуация	Средн. W-tr, %	Ст.отк W-tr, %	Довер. Интерв., %	Средн. W-part, %	Ст.отк W-part, %	Довер. Интерв., %	Разница Средн., %	N
1	15.0			13.7			1.3	2
2	13.8			11.8			2.0	3
3	17.8	1.1	2.7	14.4	0.6	1.6	3.4	5
4	14.4	1.2	3.7	11.9	0.6	1.9	2.6	4
5	13.1	1.8	4.4	10.7	1.0	2.4	2.4	5
Среднее	14.9	2.2	2.1	12.4	1.7	1.7	2.5	19

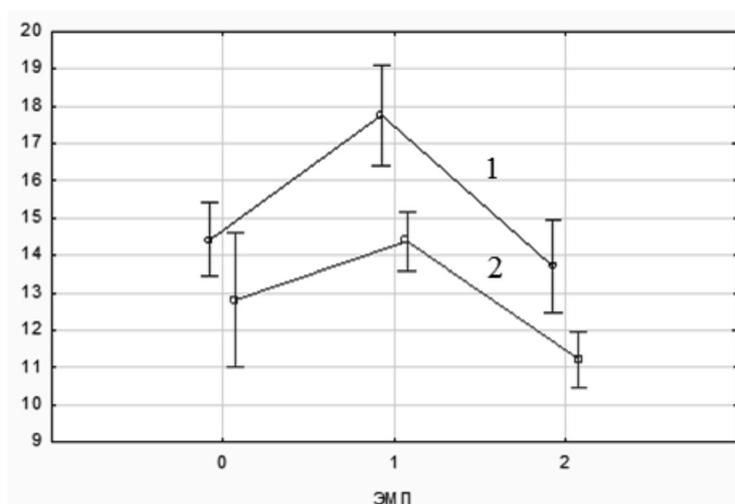


Рис. 2. Сравнительный анализ влияния Пе ЭМП на влажность (%) ВТС (1) и ОТС (2) в зависимости от напряженностью Пе ЭМП ВЛ СВН: 0 – лес, 1 – экотон с наименьшей напряженностью Пе ЭМП, 2 – область просеки в зоне влияния крайнего провода с максимальной напряженностью ПеЭМП

Надо сказать, что коэффициент корреляции по показателю объемной массы между ВТС и ОТС низкий (-0,16) и не достоверен. Этот факт легко понять, так как в центральной части отдельности разброс значений объемной массы зависит от наличия червоточин и корней, а разброс объемной массы трещин зависит от ширины и количества сходящихся трещин, а также их наполненности трещинным материалом.

Отмечается повышенная влажность на экотоне просеки как ВТС, так и ОТС, а в зоне воздействия Пе ЭМП влажность остается близкая к лесной ситуации (рис. 2).

Центральная часть просеки более освещена солнцем, следовательно, более нагрета, что вызывает понижение содержания влаги в почве как в ВТС, так и ОТС. На экотоне содержание влаги в почве достоверно выше по сравнению с центральной просекой ВЛ СВН. Здесь отсутствует потребитель влаги – корни древесной

растительности, и освещенность солнцем центра просеки. Влажность почвы под проводом ВЛ СВН сходна с таковой в лесу. Существенных достоверных отклонений в содержании влаги в трещинах и отдельностях, вызванных током Пе ЭМП ВЛ СВН не выявлено.

### Выводы

В период летней засухи влажность в области трещин всегда выше по сравнению с центральной частью отдельностей высекаемых трещинами. В области трещины создаются локально благоприятные условия для развития корней и гумусообразования, поэтому является основанием для формирования регулярной цикличности языков гумусового горизонта, что формирует циклы вариаций мощности АУ.

Подтверждены общие морфологические выводы, следующие из эксперимента Бондарь В.И. Строгоновой М.Н., проведенно-

го в 1979 году в Малиненском лесничестве Центрального лесного заповедника.

Установлено, что площадь горизонтального сечения ОТС (менее 326 см<sup>2</sup>) элювиального горизонта и снижение её среднеквадратичного отклонения наблюдается в пределах проекции кроны сосны, что можно использовать в качестве диагностических признаков следов произрастания сосны в почве.

Увеличение мощности горизонта Е1 не наблюдается под кроной сосны, однако, дисперсия этой характеристики в подкромном области всегда больше, относительно окружающих почв, не подверженных механическому воздействию роста древесных корней. Причиной повышенной дисперсии мощности элювиального горизонта под кронами и следах произрастания сосны является механические смещения грунта при росте корней.

Изменений трещиноватости почв под действием Пе ЭМП ВЛ СВН не отмечено. Влажность материала ОТС и ВТС под проводами ВЛ СВН достоверно ниже по сравнению с экотонном, но близка к тому, что наблюдается в лесу. Достоверных отклонений в содержании влаги в трещинах и отдельностоях, вызванных током Пе ЭМП ВЛ СВН не выявлено.

#### Список литературы

1. Бондарь В.И., Строгонова М.Н. Разнокачественность морфонов и микрокомплексность почвенного покрова // Генезис и экология почв Центрально Лесного государственного заповедника. М.: Изд-во «Наука», 1979. – С. 87–110.
2. Глазовская М.А. Педолитогенез и континентальные циклы углерода. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 336 с.
3. Захарченко А.В. Морфологические особенности нанорельефа поверхности дерново-подзолистых почв лесных биогеоценозов. // Вестник Томского государственного педагогического университета 2005. № 7 (51). Серия: Естественные и точные науки (информационные технологии). – С. 100–108.
4. Захарченко А.В. Естественное восстановление антропогенно-измененных почв // Вестник Томского государственного педагогического университета 2005 № 7 (51). Серия: Естественные и точные науки (информационные технологии). – С. 100–108.
5. Захарченко А.В., Захарченко Н.В. Опыт трехмерного отражения поверхностей почвенных горизонтов в натуральных исследованиях. Почвоведение, №2, 2006. – С. 153–160.
6. Захарченко А.В. Почвенная микро топография в лесных экосистемах. // Вестник Томского государственного университета, выпуск 10, № 300-2. 2007. – С. 139–145.
7. Захарченко А.В. Пространственная сопряженность морфологических поверхностей почв. // Вестник ТГУ, № 300-3, 2007. – С. 146–152.
8. Захарченко А.В., Росновский И.Н., Ивлев Д.А. Топологическая и физическая лужистость почвенных слоев. // Вестник ТГУ № 300 (2), 2007. – С. 153–158.
9. Захарченко А.В., Изерская Л.А., Андреев Д.В. Второй гумусовый горизонт в почвах Арчекасского кряжа // Современные проблемы генезиса, географии и картографии почв. Сборник материалов V Всероссийской конференции с международным участием посвященной 100-летию со дня рождения Б.Ф. Петрова, 2011. Томск. – С. 139–141.
10. Карташев А.Г., Большаков М.А. Основы электромагнитной экологии. Томск, из-во ТУСУР, 2012. – 216 с.