

УДК 581.5:574.34:574.45

РЕАКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ НЕФТЕПРОДУКТАМИ*Заушинцева А. В., Заушинцен А. С., Мальцева А. Т., Свиркова С. В., Тарасова И. В., Барышева О. В.***VEGETATION DEGRADATION DUE TO SOIL POLLUTION WITH OIL***A. V. Zaushintsena, A. S. Zaushintsen, A. T. Maltseva, S. V. Svirnova, I. V. Tarasova, O. V. Barysheva*

В условиях модельного опыта темно-серая лесная почва загрязнена нефтепродуктами (моторное масло, дизельное топливо). Предварительно идентифицировано 60 видов растений из 20 семейств. Максимальное число из них (8 – 9 видов) были в семействах *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*. От загрязнения погибло 30 % видов растений. Хорошая выносливость к загрязнителям характерна для *Cirsium setosum* (Willd.). За 4 года (2010 – 2013) отмечено частичное восстановление растительного покрова.

In a modeling experiment, darkgray forest soil was contaminated with petroleum products (motor oil, diesel fuel). Preliminarily 60 plant species from 20 families had been identified, the maximum number of them (8 – 9 species) belonging to the families *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*. Pollution killed 30 % of plant species. Good resistance to pollutants characteristic of *Cirsium setosum* (Willd.). In 4 years (2010 – 2013) partial revegetation was observed.

Ключевые слова: почва, нефтепродукты, растения, виды, значимость видов, деградация растительного покрова.

Keywords: soil, oil, plant species, importance of species, degradation of vegetation.

Одним из самых опасных загрязнителей окружающей среды являются углеводородные продукты (нефть, нефтепродукты, их производные). В процессе оценки воздействия углеводородного загрязнения почвы на экологическое состояние ландшафтов важно учитывать, что содержащиеся в ней нефтепродукты оказывают прямое воздействие не только на структурно-агрегатный состав, физические и химические свойства, но и на биологические системы. Прежде всего, это выражено в изменении видового состава растительного покрова, снижении его биологической продуктивности и даже в полном исчезновении некоторых из них [2]. В научной литературе достаточно сведений, отражающих реакцию растений на загрязнение естественных и агрофитоценозов [5; 7; 8; 10]. В связи с этим важно мобилизовать природные резервы почвенной и напочвенной биоты и направить на разложение углеводородных поллютантов. Эффективность результата будет зависеть от комплексной оценки биоценозов и выделения наиболее выносливых к загрязнению видов, которые можно было бы рекомендовать в качестве фиторекультиваторов. Наряду с другими биологическими системами они позволяют обеспечить стабильность процесса биологического распада загрязнителей при относительно невысокой стоимости затрат [3]. В этом направлении выполнены наши исследования.

Цель исследований: оценка степени деградации растительного покрова в результате загрязнения почвы нефтепродуктами. Сформулированы и реализованы задачи по изучению видового состава растительного покрова и биопродуктивности в зависимости от вида и концентрации загрязнителя в почве, влияния внесенной дозы микроорганизмов-деструкторов марки «Биоойл-Югра».

Исследования проведены на опытном полигоне Кемеровского государственного университета в условиях модельного опыта с загрязнением почвы отработкой моторного масла и дизельного топлива в концентрациях: 1 %, 5 % и 10 %. Почва – темно-серая

лесная среднесуглинистая по гранулометрическому составу. Погодные условия были разными:

2010 и 2011 гг. – относительно благоприятные по гидротермическому режиму;

2012 г. – острозасушливый;

2013 г. – с количеством осадков, значительно превысившим среднюю многолетнюю норму.

Исследования видового состава растительного покрова проведены в соответствии с методикой геоботанического описания [10], биопродуктивность – весовым методом с предварительным высушиванием растительных проб до воздушно-сухого состояния. Определена общая биомасса растений, включая, растительный опад, массу надземной части растений и корневую систему на глубину 0 – 30 см.

Схема опыта:

1 – общий контроль (почва без загрязнения нефтепродуктами);

2 – загрязнение почвы отработкой моторного масла (ММ) в концентрации 1 % (1 % ММ);

3 – 1 % ММ + нефтеструктор (НД);

4 – 5 % ММ;

5 – 5 % ММ + НД;

6 – 10 % ММ;

7 – 10 % ММ + НД;

8 – 1 % дизельного топлива (ДТ);

9 – 1 % ДТ + НД;

10 – 5 % ДТ;

11 – 5 % ДТ + НД;

12 – 10 % ДТ;

13 – 10 % ДТ + НД.

Опыты заложены на делянках площадью 3 м² в 4-х кратной повторности. В качестве нефтеструктора использован биопрепарат марки «Биоойл-Югра», который состоит из ассоциации углеводород-окисляющих бактерий. Статистическая обработка данных осуществлена дисперсионным методом [4] с применением пакета прикладных программ Statistica 6.0 на ПК.

Результаты исследований и их обсуждение

Опасность исследованных загрязнителей, прежде всего, связана с высокой чувствительностью к ним высших растений. Известно, что они занимают ведущее положение практически во всех наземных экосистемах и определяют существование, состав и значимость других представителей биоты как компонентов биогеоценозов [6; 8; 11]. В зависимости от силы техногенного давления можно наблюдать реакцию растений и их уязвимость. В нашем эксперименте методом геоботанического описания [9] выявлен видовой состав растительного покрова на молодой залежи (с 2004 по 2010 гг.), территория которой выделена под

модельный полигон. В общей сложности определено 60 видов, характеризующих 6-летнюю сукцессию, представленную ассоциацией злаково-разнотравного луга.

Анализ хозяйственной значимости показал разнонаправленность видов по целям возможного использования (табл. 1). Среди них 75,0 % отнесено к лекарственным, 40,0 – к пищевым, по 38,3 – к кормовым и медоносным, 35,0 % – к декоративным. Почти половина (46,7 %) из всего учтенного разнообразия представлена сорными видами, отражающими характерную черту восстановительных сукцессий [13; 14] этого возраста.

Таблица 1

Хозяйственная значимость растений

Хозяйственная значимость видов	Число видов*							
	2010 г. (до закладки опыта)		2011 г.		2012 г.		2013 г.	
	экз.	% от общего числа	экз.	% от общего числа	экз.	% от общего числа	экз.	% от общего числа
Пищевые	24 ± 1,49	40,0	7 ± 1,02	11,7	13 ± 1,26	21,7	14 ± 1,35	23,3
Кормовые	23 ± 1,50	38,3	8 ± 1,14	13,3	16 ± 1,26	26,7	23 ± 1,47	38,3
Медоносные	23 ± 1,42	38,3	5 ± 0,44	8,3	13 ± 2,06	21,7	14 ± 1,97	23,3
Лекарственные	45 ± 6,3	75,0	13 ± 1,23	21,7	29 ± 2,31	48,3	30 ± 2,56	50,0
Декоративные	21 ± 1,24	35,0	2 ± 0,12	3,3	7 ± 0,99	11,7	11 ± 2,11	7,3
Технические	10 ± 1,97	16,6	3 ± 0,19	5,0	5 ± 0,88	8,3	6 ± 0,99	10,0
Сорные	28 ± 2,30	46,7	14 ± 1,25	23,3	23 ± 1,45	38,3	23 ± 1,44	38,3
Ядовитые	6 ± 0,86	10,0	3 ± 0,14	5,0	3 ± 0,15	5,0	3 ± 0,21	5,0

Примечание: * Достоверно при P₀₀₅.

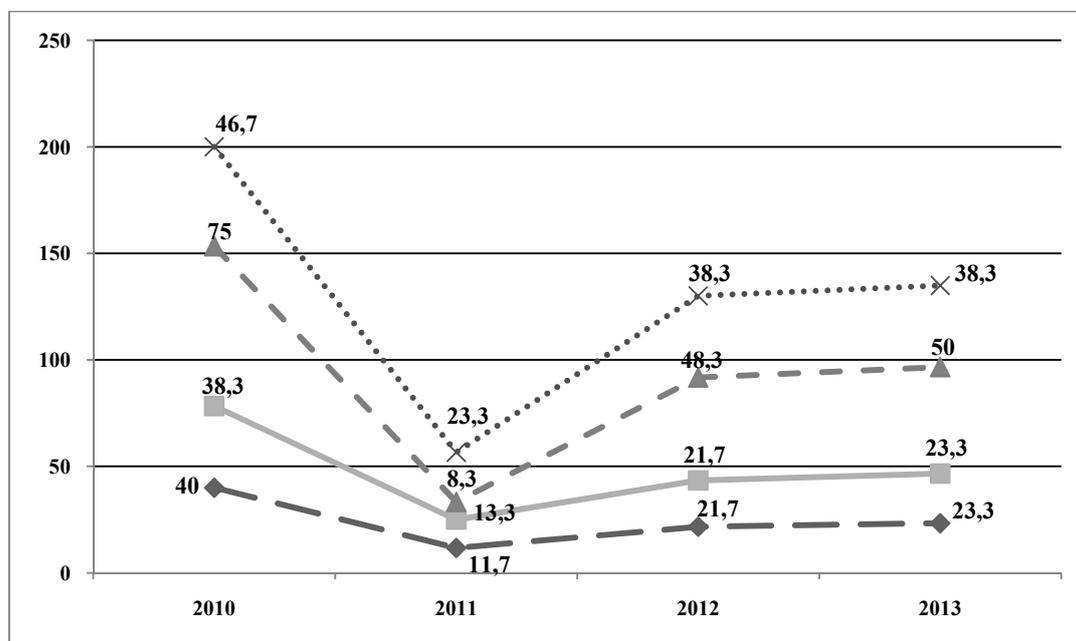


Рис. 1. Влияние загрязнителей на сохранность разных по значимости видов растений, %

После загрязнения почвы отработкой моторного масла и дизельного топлива отмечено значительное сокращение видов. В конце вегетационного периода 2010 г. в целом по опыту сокращение их числа по группам значимости произошло в 2,0 (ядовитые и

сорные) – 10, 6 раз (декоративные). Повышение показателей отмечено с 2012 г., когда произошло существенное нарастание численности (рис. 1).

В 2013 г. этот процесс продолжился, но с большей скоростью в группе лекарственных растений, значи-

тельно медленнее – в группах пищевых, медоносных, сорных. В группах с медленно восстанавливающейся численностью причинами могли быть слабая сила роста зачатков жизни и скорость возобновления всхожести семян из запасов, находящихся в почве, а также засуха предыдущего сезона, ограничившая запасы продуктивной влаги, необходимой для благоприятного развития растений.

Не возобновились в условиях опыта 18 видов, имеющих важное значение для поддержания пространственной структуры растительных сообществ, их разнообразия в биоценологических связях в качестве резерва для пополнения и замещения доминантов, что придаёт биоценозу устойчивость и обеспечивает надёжность его функционирования в разных условиях (таблица 2).

Таблица 2

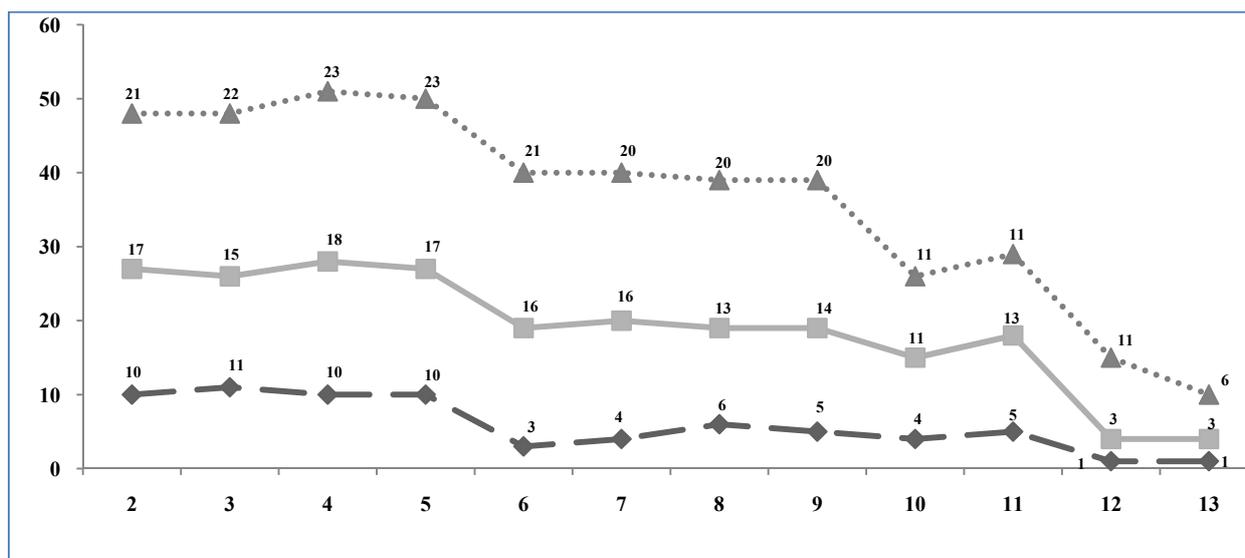
Хозяйственная значимость исчезнувших растений в результате загрязнения почвы

№ п/п.	Название растения		Семейство	Хозяйственная значимость
	русское	латынь		
1	Борщевик расчлененный	<i>Heracleum dissectum</i>	<i>Apiaceae</i>	пищевое, медонос, ядовитое
2	Василистник жёлтый	<i>Thalictrum flavum</i>	<i>Ranunculaceae</i>	медонос, декоративное
3	Вейник тупочешуйный	<i>Calamagrostis obtusata</i>	<i>Gramineae</i>	кормовое
4	Вероника Крылова	<i>Veronica Krylovii</i>	<i>Scrophlarinaceae</i>	декоративное, медонос
5	Вздутоплодник волосистый	<i>Phlojodicarpus villosus</i>	<i>Apiaceae</i>	лекарственное, техническое
6	Дудник лесной	<i>Angelica silvestris</i>	<i>Apiaceae</i>	лекарственное, кормовое, пищевое, медонос
7	Живокость высокая	<i>Delphinium elatum</i>	<i>Ranunculaceae</i>	лекарственное, декоративное
8	Зопник клубневидный	<i>Phlomis tuberosa</i>	<i>Laminaceae</i>	пищевое, лекарственное, кормовое, медонос
9	Колокольчик олений	<i>Campanula cervicaria</i>	<i>Campanulaceae</i>	декоративное
10	Крапива жгучая	<i>Urtica urens</i>	<i>Urticaceae</i>	пищевое, кормовое, лекарственное, сорное
11	Кровохлёбка лекарственная	<i>Sanguisorba officinális</i>	<i>Rosaceae</i>	кормовое, лекарственное, медонос, декоративное
12	Лапчатка золотистая	<i>Potentilla chresantha</i>	<i>Rosaceae</i>	лекарственное, техническое, декоративное
13	Лютик едкий	<i>Ranunculus acris</i>	<i>Ranunculaceae</i>	лекарственное, медонос, декоративное, ядовитое.
14	Лобазник вязолистный	<i>Filipéndula ulmária</i>	<i>Rosaceae</i>	техническое, медонос, пищевое, декоративное, лекарственное
15	Папоротник орляк	<i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Hypolepidaceae</i>	лекарственное, пищевое, техническое, ядовитое.
16	Спорыш птичий (горец птичий)	<i>Polygonum aviculáre</i>	<i>Polygonaceae</i>	лекарственное, пищевое, кормовое, техническое, сорное
17	Щавель пирамидальный	<i>Rumex thyrsiflorus</i>	<i>Polygonaceae</i>	сорное, кормовое
18	Ястрибинка зонтичная	<i>Hieracium umbelatum</i>	<i>Asteraceae</i>	лекарственное, сорное, техническое

Идентификация видового состава растительности на делянках с разной концентрацией загрязнителей также подтвердила выше указанную закономерность (рис. 2), выявлена четкая тенденция в том, что обработка моторного масла влияет менее токсично на растения и их зачатки (варианты 2 – 7), чем дизельное топливо (варианты 7 – 13). В 6 – 20 раз снизилось число видов в первом случае и в 10 – 60 раз – во втором. На делянках, загрязнённых дизельным топливом, в 2011 г. сохранилось лишь по 3 растения *Cirsium setosum* (Willd.), который, видимо, за счет корневой системы (корневых отпрысков), содержащей достаточно большое количество влаги и растворённых в ней элементов питания, выжил на всех без исключения вариантах опыта. Условно выносливыми были *Galeopsis bifida* Boenn. и *Amaránthus retrofléxus* L.,

сохранившиеся на первых 7 вариантах. На 4 – 5 делянках с меньшими концентрациями загрязнителей продолжали вегетировать: гречишка вьюнковая, желтушник левкойный, звездчатка злаковая, костёр безостый, пастушья сумка, чистец болотный и щетинник зелёный. Нет статистически достоверных различий по общей численности видов на загрязнённых делянках без обработки биопрепаратом – деструктором углеводородов – и на делянках с его применением. Вместе с тем видовое разнообразие имеет место быть. Так, дрёма белая выявлена на вариантах 7 – 9, жабрей двураздельный – на 2 – 5, 8, 11. Это, скорее всего, характеризует их размещение в исторической сложившемся когда-то в структуре изучаемой ассоциации в процессе приспособления к определенным абиотическим и биотическим условиям ландшафта. Они составляют

группировки, отражающие горизонтальную структуру ассоциации в виде различного рода узорчатостей, пятнистостей каждого вида.



Примечание: * Варианты опыта приведены в соответствии со схемой опыта.

Рис. 2. Влияние загрязнителей на численность видов по вариантам опыта

Важным аспектом данных исследований является изучение продуктивности растительности как современного фактора, влияющего на почвообразование [1]. Данные о запасах надземной и подземной фитомассы дают представление о количестве растительного вещества, участвующего в биологическом круговороте, а также раскрывают пути приспособления различных экосистем к изменяющимся факторам воздействия. Во все годы исследований получены результа-

ты по оценке биологической продуктивности растений (таблица 3). В силу влияния разных абиотических факторов (погодные условия, элементы питания в почве и концентрации загрязнителей) получены неоднозначные результаты и выявлены закономерности, отражающие сложные системы взаимодействия почвенной биоты в процессе очищения среды обитания, которые не единожды выявлены другими исследователями [5; 12].

Таблица 3

Средняя биопродуктивность растений с единицы площади

Вариант опыта	2010 г.			2013 г.			± % к 2010 г.
	биомасса, г/м ²	% к общему контролю	% к контролю загрязнителя	биомасса, г/м ²	% к общему контролю	% к контролю загрязнителя	
1	608,5	-	-	1908,9	-	-	313,7
2	786,4	129,2	-	975,5	51,1	-	124,0
3	902,4	148,3	114,7	1446,5	75,8	148,3	160,3
4	418,4	68,7	-	1464,7	76,7	-	350,1
5	771,2	126,7	184,3	1896,8	99,4	129,5	245,9
6	262,8	43,2	-	1105,0	57,9	-	420,5
7	574,8	94,5	218,7	1298,8	68,3	117,5	225,9
8	423,2	21,7	-	997,8	52,3	-	230,7
9	503,2	82,7	408,4	1093,6	57,9	109,6	217,3
10	206,8	34,0	-	958,6	48,2	-	463,0
11	234,0	38,5	113,1	1082,7	56,7	112,9	462,7
12	84,8	13,9	-	590,3	30,9	-	696,0
13	125,2	20,6	147,7	656,1	34,4	11,1	524
НСР ₀₅	87,9	-	-	146,3	-	-	-

Анализ четырехлетних результатов эксперимента показывает постепенное увеличение биомассы растений, особенно существенный прирост получен в 2013 г. по отношению к 2010 г. Биопродуктивность растений с делянок с общего контрольного варианта, не загрязнен-

ного нефтепродуктами, возросла на 313,7%. Этому способствовало наличие большого количества осадков в сочетании с положительным температурным режимом воздуха. На загрязненных делянках превышение составило 124 – 696%, но не выявлено вариантов выше об-

щего контрольного показателя, что свидетельствует о недостаточной степени очистки почвы.

В первый год исследований в трёх вариантах (2, 3, 5) отмечена статистически достоверная прибавка биомассы (на 26,7 – 48,3 %) по отношению к общему контролю. С одной стороны, это очевидный стимулирующий эффект от внесения невысоких концентраций (1 – 5 %) отработки моторного масла, а с другой – усиление окислительных процессов за счет внесения микроорганизмов-нефтедеструкторов. С повышением концентраций загрязнителя, особенно дизельного топлива, не исключены полная гибель растений и их зачатков, фенологические отклонения от нормы, в том числе в виде появления гигантских или карликовых форм, нарушения нормальных пропорций во внешнем облике растений и другие [5], что привело к резкому снижению биомассы – от 61,5 % до 86,1 % (варианты 10 – 13). Использование биопрепарата марки «Био-ойл-Югра» в целом способствует активизации ростовых процессов, что доказано статистически достоверным увеличением биомассы растений (варианты: 2, 4, 6, 8, 10) по отношению к контролю загрязненных фонов (1, 3, 5, 7, 9).

Аналогичная закономерность прослеживается и в остальные годы. Исключение составляют значения биопродуктивности на вариантах 12 и 13 как в начале исследований, так и в конце (2013 г.), когда при 10 % концентрации дизельного топлива они составили 13,9 – 20,6 % и 30,9 – 34,4 % соответственно к общему контролю и фактически не различались между

собой. Это в первом случае вызвано почти полной гибелью растений, за исключением единичных экземпляров *Cirsium setosum* (Willd.), а во втором – за счет компенсации биомассой разнокомпонентности популяции растений. Структура популяции загрязненного контроля (вариант 12) представлена 11 видами, в числе которых: бодяк щетинистый, горошек мышинный, дрема белая, пикульник двураздельный, овсяница луговая, костер безостый и др. В варианте с обработкой биопрепаратом (13) идентифицированы 6 видов: бодяк щетинистый, полынь обыкновенная, пырей ползучий, тимopheевка луговая, звездчатка злаковая, фиалка полевая. Первый из них является доминантным, занимает, примерно, 65 % площади делянки, формирует объемную фитомассу, но теряет около 35 – 40 % за счет удаления влаги при сушке.

В целом результаты эксперимента на модельных площадках отражают высокую опасность для экологического состояния сопряженных сред «почва – растительный покров» при загрязнении нефтепродуктами, что приводит к нарушению их гомеостаза.

Выводы

1. Загрязнение почвы нефтепродуктами привело к исчезновению 30 % видов растений из общей популяции растительного покрова.

2. Использование биопрепарата марки «Био-ойл-Югра» положительно влияет на повышение биологической продуктивности растительного покрова.

Литература

1. Воронов, А. Г. Геоботаника / А. Г. Воронов. – М.: Высш. шк., 1963. – 384 с.
2. Гашева, М. Н. Состояние растительности как критерий нарушенности лесных биоценозов при нефтяном загрязнении / М. Н. Гашева, Н. С. Гашев, А. В. Соромотин // Экология. – 1990. – № 2. – С. 77 – 78.
3. Грищенко, О. М. Ботанические аномалии как поисково-разведочный критерий нефтегазоносности / О. М. Грищенко // Экология. – 1982. – № 1. – С. 18 – 22.
4. Доспехов, Б. А. Дисперсионный анализ / Б. А. Доспехов // Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1985. – 381 с.
5. Зволинский, В. П. Развитие сельскохозяйственных культур в условиях нефтяного загрязнения почв / В. П. Зволинский, Е. К. Батовская, А. Н. Бондаренко // Земледелие. – 2008. – № 2. – С. 8 – 9.
6. Звягинцев, Д. Г. Растения как центры формирования бактериальных сообществ / Д. Г. Звягинцев, Т. Г. Добровольская, Л. В. Лысак // Журнал общей биологии. – 1993. – Т. 54. – № 2. – С. 183 – 199.
7. Корсунова, Т. М. Реакция сельскохозяйственных растений на загрязнение почвы нефтью / Т. М. Корсунова, Е. В. Коновалова // Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции «Инновации – приоритетный путь развития АПК». – Кемерово, 2009. – С. 98 – 100.
8. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
9. Миркин, Б. М. Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М., 2000. – 264 с.
10. Работнов, Т. А. Фитоценология / Т. А. Работнов. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – С. 12 – 36.
11. Сизых, А. П. Структурно-динамическая характеристика современного экологического состояния и прогноза развития растительности Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения (Иркутская область) / А. П. Сизых // Инженерная экология. – 2009. – № 6. – С. 2 – 16.
12. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 2005. – 252 с.
13. Luzuriaga, A. L. What determines emergence and net recruitment in an early succession plant community? Disentangling biotic and abiotic effects / A. L. Luzuriaga, A. Escudero // J. Veget. Sci. – 2008. – V. 19. – № 4. – P. 445 – 456.
14. Oldfield secondary succession in SE Spain: can fire invert it? / V. M. Santana [et al.] // Plant Ecol. – 2010. – V. 211. – № 2. – P. 337 – 349.

Информация об авторах:

Заушинцева Александра Васильевна – доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники КемГУ, 8-923-606-38-85, alexaz58@yandex.ru.

Alexandra V. Zaushintseva – Doctor of Biology, Professor at the Department of Botany, Kemerovo State University.

Заушинцен Антон Сергеевич – соискатель Кемеровского государственного университета, 8-923-606-38-85, alexaz58@yandex.ru.

Anton S. Zaushintsen – post-graduate student at Kemerovo State University.

Мальцева Алла Тихоновна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники КемГУ, 8-923-606-38-85, alexaz58@yandex.ru.

Alla T. Maltseva – Candidate of Biology, Assistant Professor at the Department of Botany, Kemerovo State University.

Свиркова Светлана Валерьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники КемГУ, 8-913-404-61-49, svsvirkova@yandex.ru.

Svetlana V. Svirikova – Candidate of Agricultural Science, Assistant Professor at the Department of Botany, Kemerovo State University.

Тарасова Ирина Викторовна – ведущий инженер кафедры ботаники КемГУ, 8-913-289-37-78, itarasova14@yandex.ru.

Irina V. Tarasova – Senior Engineer at the Department of Botany, Kemerovo State University.

Барышева Ольга Валерьевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники КемГУ, 8-960-900-65-10, alexaz58@yandex.ru.

Olga V. Barysheva – Candidate of Biology, Assistant Professor at the Department of Botany, Kemerovo State University.

Статья поступила в редколлегию 03.02.2014 г.