

О. Н. Смирнов, О. А. Голубина, М. А. Сергеева, Е. В. Порохина

## ДИНАМИКА БИОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ГАЗОВОГО РЕЖИМА В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ЭВТРОФНОГО БОЛОТА

Приведены результаты по динамике ферментативной активности и газовому режиму (диоксид углерода и метан) в торфяных залежах эвтрофного болота в климатических условиях 2011 г.

**Ключевые слова:** торфяная залежь, ферменты, биохимическая активность, газовый режим.

Учитывая достаточно высокую биогенность торфяных болот, изучение биологических процессов приобретает особое значение. Биологическая активность – это комплексный показатель, определяемый по количеству, качеству, составу и активности микроорганизмов и почвенных ферментов. Изучение последних как биологической составляющей процесса торфогенеза обусловлено тем, что ферментативная активность – это суммарный процесс, отражающий деятельность всех населяющих ее организмов.

В процессе торфообразования в каждом типе болот создается определенный уровень и соотношение ферментов, что определяет интенсивность и направленность биохимических процессов. Биохимические процессы, протекающие в торфяных залежах, приводят к высвобождению углерода в виде метана и диоксида углерода, которые и определяют газовый режим болот. В связи с проблемой изменения климата особое внимание при этом уделяется изучению цикла углерода в торфяно-болотных экосистемах [1–3].

Целью исследования является изучение биохимического и газового режимов эвтрофного болота Таган. Исследования проводились на территории южно-таежной подзоны Западной Сибири, относящейся по болотному районированию, по О. Л. Лисс и др. [4], к северобарабинскому округу подтаежных эвтрофных осоково-гипновых болот.

На болоте Таган исследования проводились в двух пунктах. Пункт 1 с мощностью торфяной залежи около 3 м и возрастом –  $3445 \pm 50$  лет. Торфяная залежь сложена травяным и древесно-травяным торфом со степенью разложения от 25 (с поверхности) до 55% на глубине 3 м. Торфяная залежь на п. 2 ( $56^{\circ}14''$  с. ш.,  $84^{\circ}30''$  в. д.) мощностью 3 м подстилается сапропелем, возраст торфяной залежи –  $4035 \pm 50$  лет [5, 6].

Радиоуглеродное датирование торфяных залежей было проведено на радиоуглеродной установке QUANTULUS–1220, ботанический состав и степень разложения торфа – по ГОСТ 28245–89.

В течение вегетационного периода в пунктах наблюдений проводились наблюдения за УБВ по методике [7], окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП). В этих же пунктах были заложены

штанги для определения газового режима «реперс»-методом [8]. Анализ газа проводился на газовом хроматографе «Кристалл–5000.2».

Активность каталазы определяли газометрическим методом в модификации Ю. В. Круглова и Л. Н. Пароменской [9, 10] в мл  $O_2/2$  мин на 1 г (далее по тексту – ед.). Полифенолоксидазную и пероксидазную активность определяли по методу Л. А. Карягиной и Н. А. Михайловской [10] в мг 1,4-п-бензохинона/30 мин (далее – ед). Статистическая обработка результатов анализа проведена с помощью пакета Microsoft Office Excel.

Погодные условия вегетационного периода 2011 г. в целом близки к среднееголетним значениям, но отдельные месяцы существенно различаются. Так, количество выпавших осадков в мае и июне – в 1,5–2 раза ниже нормы. В июле количество осадков превысило норму в 2,2 раза. Это оказало влияние на динамику уровня болотных вод (УБВ) (рис. 1).

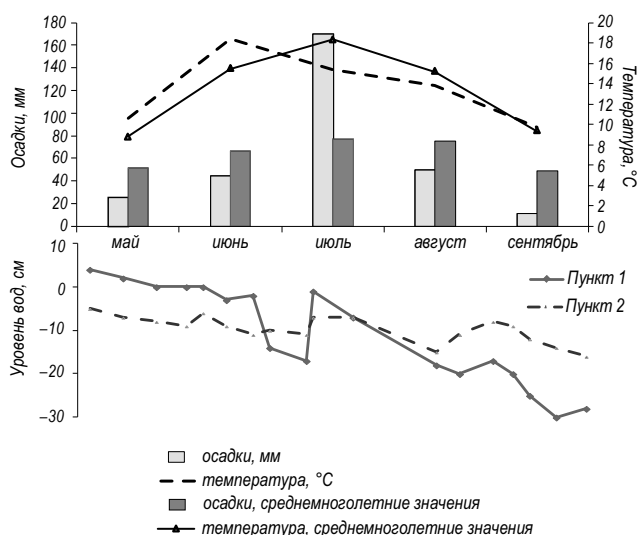


Рис. 1. Погодные условия, метеостанция Томск

В результате снижения УБВ за вегетационный период окислительные условия прослеживаются в торфяных залежах пунктов 1 и 2 до глубины 20–40 см, ниже по профилю отмечаются резковосстановительные условия. В торфяной залежи п. 1 динамика окислительно-восстановительного потен-

циала (ОВП) имеет следующую закономерность: в мае окислительные условия (500–600 мВ) устанавливаются в слое 0–10 см с резкой сменой на восстановительные условия уже в слое 10–20 см. В конце июня окислительные условия формируются и в слое 10–20 см (183–283 мВ). Граница окислительных условий достигает 40 см глубины с середины августа и сохраняется в этом слое до конца вегетационного периода. Следует отметить и особенность окислительно-восстановительных условий в торфяной залежи п. 1, которая заключается в резкой смене ОВП на глубине 40 см на отрицательные значения, указывающие на резко восстановительные условия, –69...–270 мВ.

Пониженные УБВ в торфяной залежи п. 2 в весенний период по сравнению с п. 1 определяют и более окислительные условия в слое 0–20 см в мае (до 720 мВ). Вместе с тем дальнейшее проникновение высоких значений окислительно-восстановительных потенциалов ограничивается глубиной 30 см, что меньше по сравнению с п. 1. Более низкие значения ОВП характерны и для инертного слоя торфяной залежи (до –350 мВ). Таким образом, можно констатировать наличие окислительных условий в весенний период в торфяной залежи п. 2, которые в дальнейшем сохраняются в слое 0–20 см

до конца вегетационного периода (в п. 1 до 40 см), а также резко восстановительных условий в более глубоких слоях торфяной залежи.

При таких окислительно-восстановительных условиях формировалась биологическая активность в торфяных залежах. Общее представление о биологической активности, по мнению многих авторов [11, 12], дает определение фермента каталазы. Активность каталазы в торфяной залежи эвтрофного болота изменялась в течение вегетационного периода от 2,22 до 12,88 ед. (рис. 2). Доля неферментативной активности каталазы в торфяной залежи эвтрофного болота невелика и составляет в среднем 11,5% от общей активности каталазы. При этом самые высокие ее показатели (в среднем 14,4% от общей активности каталазы) наблюдались в торфяной залежи п. 1 при одинаковых значениях зольности торфов обоих пунктов наблюдений.

Наименьшая активность общей каталазы отмечалась в торфяной залежи п. 1 с выраженными гидроморфными условиями. Уровень болотных вод в мае–июне был выше поверхности почвы, а высокие значения ОВП были только в слое 0–10 см. Более высокая активность фермента наблюдалась в торфяной залежи п. 2, что определяется более богатым водноминеральным питанием.

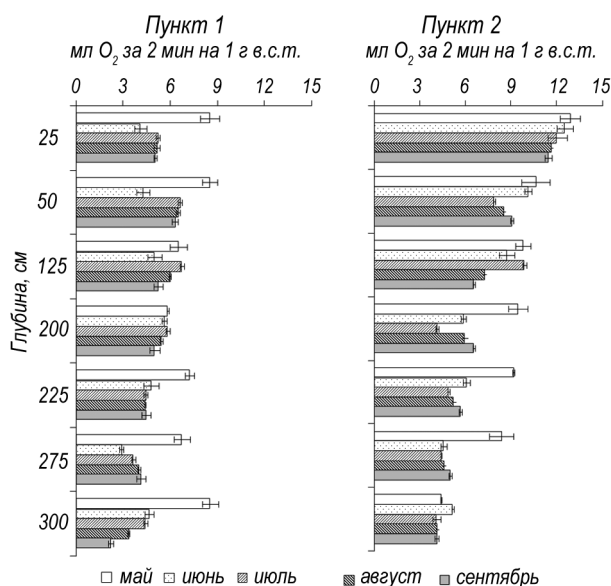


Рис. 2. Динамика каталазной активности

Верхний слой (0–20 см), характеризующийся устойчивыми окислительными условиями с высокими значениями ОВП, имеет наибольшую активность каталазы. С глубиной наблюдается тенденция к снижению активности каталазы, особенно заметная в торфяной залежи п. 2 (рис. 2).

В целом, согласно шкале Д. Г. Звягинцева [13], исследуемые торфы по степени активности каталазы относятся к очень бедным.

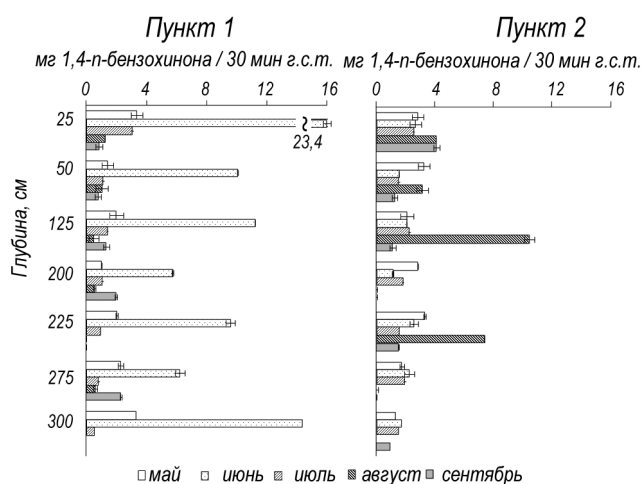


Рис. 3. Динамика активности полифенолоксидазы

Поступая в торфяную залежь, растительные и микробные органические остатки попадают в сферу сложных превращений, которые катализируются полифенолоксидазой (ПФО). Активность ПФО в течение вегетационного периода изменялась в широких пределах 0,12–23,40 ед. и в 4,5 раза превышает ранее известные результаты активности ПФО для торфов эвтрофного типа [14, 15]. Надо полагать, что невысокая зольность торфов исследуемо-

го эвтрофного болота и преобладающий древесно-травяной ботанический состав в торфяной залежи стимулирует окислительно-восстановительную деструкцию органического вещества торфов, слагающих торфяную залежь.

Именно поэтому высокая активность ПФО отмечается в торфяной залежи п. 1, несмотря на то, что УБВ почти до середины вегетационного периода поддерживался у поверхности. При этом активнее процессы гумификации на этом пункте протекают в самом верхнем слое (0–25 см), где наблюдаются высокие значения ОВП и в придонном (275–300 см). Ранее проведенными исследованиями было показано, что активность ПФО определяется соотношением фракций в составе органических веществ торфов. Так, в осоковых торфах, по сравнению с травяными, преобладают легкогидро-

лизуемые вещества, тогда как содержание фракций гуминовых кислот в них значительно меньше, а отсюда и снижение активности ПФО.

Пероксидаза (ПДО) катализирует процессы трансформации органических веществ [16, 17]. Пределы изменения активности ПДО в торфяных залежах составляют 0,00–109,06 мг ед. (рис. 4). Анализ полученных данных показывает, что активность ПДО выше в глубоких, анаэробных слоях торфяной залежи эвтрофного болота, где развиваются восстановительные условия и отмечаются пониженные температуры. Динамика ПДО активности в торфяных залежах по пунктам наблюдений характеризовалась более высокими значениями в летний период, по сравнению с весенними и осенними показателями, что особенно проявилось в торфяной залежи п. 1.

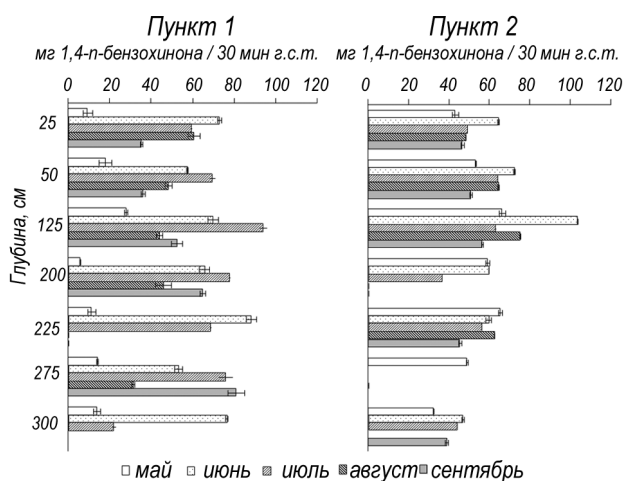


Рис. 4. Динамика активности пероксидазы

Таким образом, динамика активности ферментов отмечается как в течение вегетационного периода, так и по всей глубине торфяной залежи, в аэробных и анаэробных условиях, что сказывается на образовании газов как конечных продуктов распада органических веществ в торфяной залежи. Рассмотрим изменение концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в торфяных залежах болота Таган.

В среднем за вегетационный период концентрация  $\text{CO}_2$  была 0,41 ммоль/л (далее – ед.) с пределами от 0,00 до 0,81 ед. Менее активно процесс образования  $\text{CO}_2$  протекал в профиле п. 2 (0,21 ед.). С глубиной концентрация  $\text{CO}_2$  увеличивается в 1,5–3 раза, наиболее интенсивное увеличение  $\text{CO}_2$  отмечается в августе (рис. 5). В торфяной залежи п. 1 в августе концентрация  $\text{CO}_2$  в верхнем слое составила 0,08 ед., на глубине 250 см – 0,18 ед., в профиле торфяной залежи п. 2 на аналогичных глубинах соответственно 0,14 и 0,81 ед.

Полученные данные совпадают с результатами других авторов [18–20]. В августе, как уже отмеча-

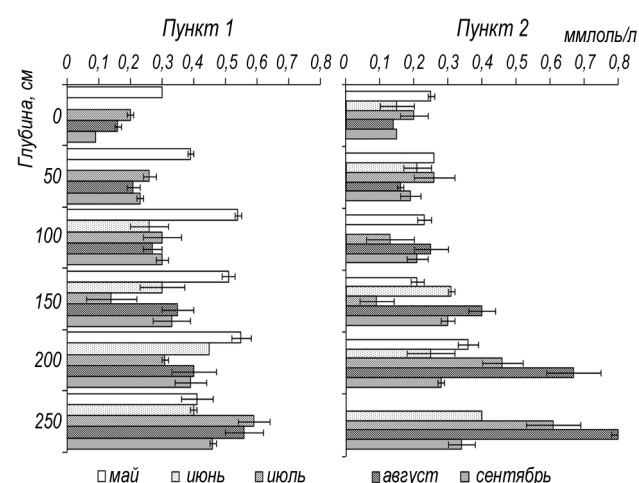


Рис. 5. Динамика диоксида углерода в торфяных залежах

лось выше, в торфяных залежах наблюдалось резкое снижение УБВ, поэтому в верхнем полуметровом слое большая часть образовавшегося  $\text{CO}_2$  выделилась в атмосферу. В восстановительных условиях торфяных залежей, вероятно, происходило растворение образовавшегося  $\text{CO}_2$ , что фиксировалось «реперс»-методом.

В целом за рассматриваемый вегетационный период наиболее высокие концентрации  $\text{CO}_2$  были отмечены в августе, а наименьшие – в июне.

Концентрация  $\text{CH}_4$  изменялась в пределах 0,00–0,69 ед. при среднем значении 0,3 ммоль/л. С глубиной концентрация  $\text{CH}_4$  в исследуемых залежах увеличивается примерно в 1,5–2 раза (рис. 6), что согласуется с результатами других исследований [19, 21–22].

Так, в профиле торфяной залежи п. 1 концентрация  $\text{CH}_4$  изменялась в пределах 0,00–0,46 ед., при этом максимальные значения были зафиксированы в июле в придонных слоях (0,46 ед. на глубине 250 см).

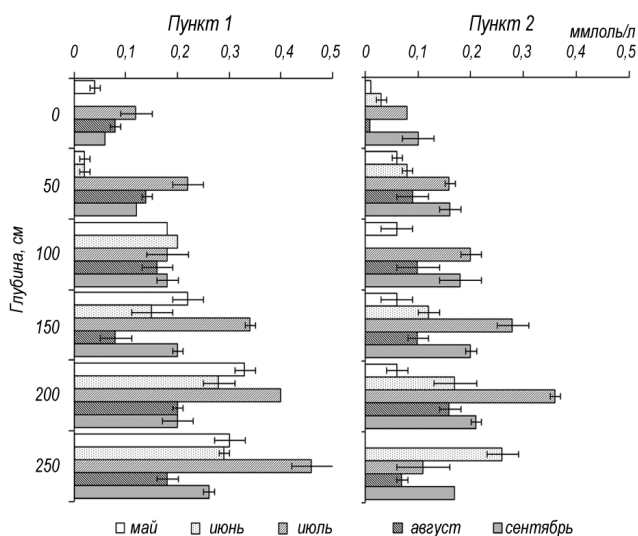


Рис. 6. Динамика метана в торфяных залежах

Торфяная залежь п. 2 характеризуется повышенным содержанием  $\text{CH}_4$  в июле (0,36 ед.) на глубине 200 см. Вместе с тем июль отличается более активным процессом образования  $\text{CH}_4$  по всему профилю торфяных залежей. Резкое понижение УБВ в августе привело к снижению концентрации  $\text{CH}_4$

в торфяных залежах, при этом в верхних слоях концентрация  $\text{CH}_4$  близка к нулевым значениям (п. 1 – 0,08, п. 2 – 0,01 ед.).

На основании проведенных исследований показано, что торфяные залежи эвтрофного болота Таган биологически активны по всему профилю. Исследуемые торфяные залежи по степени обогащенности ферментами, согласно шкале Д. Г. Звягинцева, относятся к бедным.

Наиболее высокая активность каталазы отмечается в верхнем, хорошо аэрированном слое торфяной залежи п. 2. Максимальные значения ПФО и ПДО активности наблюдаются в слое 100–125 см. В сезонной динамике каталазной активности выделяется весенний максимум. Высокая активность полифенолоксидазы и пероксидазы отмечается в летний период.

Концентрация диоксида углерода и метана с глубиной увеличивается, максимальные значения отмечаются в слое 200–250 см. В сезонной динамике  $\text{CO}_2$  наиболее высокие значения отмечаются в августе,  $\text{CH}_4$  – в июле.

Динамика образования диоксида углерода и метана определяется биологической активностью и ОВП торфяных залежей.

### Список литературы

1. Глаголев М. В. Метаногенез болот (результаты и перспективы исследований) // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2008. Вып. 4 (78). С. 74–77.
2. Наумов А. В. Верховые болота лесостепной зоны как источник/сток парниковых газов // Мат-лы III междунар. полевого симпозиума «Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее» (г. Ханты-Мансийск, 27 июня – 5 июля 2011 г.). Новосибирск, 2011. С. 123–125.
3. Сергеева М. А. Динамика образования диоксида углерода и метана в торфяных залежах эвтрофного болота Таган // Мат-лы III междунар. полевого симпозиума «Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее» (г. Ханты-Мансийск, 27 июня – 5 июля 2011 г.). Новосибирск, 2011. С. 133–135.
4. Лисс О. Л., Абрамова Л. И., Аветов Н. А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула, 2001. 584 с.
5. Инишева Л. И., Порохина Е. В., Аристархова В. Е., Боровкова А. Ф. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. Томск: Изд-во ТГПУ, 2007. 225 с.
6. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета / Л. И. Инишева, В. Ю. Виноградов, О. А. Голубина, Г. В. Ларина и др.; Томский государственный педагогический университет. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 118 с.
7. Наставления гидрометрическим станциям и постам. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1987.
8. Eilrich B. Formation and transport of  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  in deep peatlands: Presentee a la Faculte des Sciences de l'Universite de Neuchatel (Suisse) pour l'obtention du grade de Docteur es Sciences. 2002. P. 168.
9. Круглов Ю. В., Пароменская Л. Н. Модификация газометрического метода определения каталазной активности // Почвоведение. 1966. № 1. С. 93–95.
10. Карягина Л. А., Михайлоуская Н. А. Визначенне актыунасці поліфенолаксидазы і пераксидазы у глебе // Весцы АН БССР. 1986. № 2. С. 40–41.
11. Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и техника, 1966. 275 с.
12. Курбатов И. М., Двойнишникова Е. И. Каталазная активность как показатель общей биологической активности почв // Сб. докладов симпозиума по ферментам почвы. Минск: Наука и техника, 1968. С. 100–107.
13. Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
14. Савичева О. Г., Инишева Л. И. Биохимическая активность торфов разного ботанического состава // Химия растительного сырья. 2003. № 3. С. 41–50.
15. Инишева Л. И., Ивлева С. Н., Щербакова Т. А. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2003. 122 с.
16. Гулько А. Е., Хазиев Ф. Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение. 1992. № 11. С. 55–67.

17. Славнина Т. П., Инишева Л. И. Биологическая активность почв Томской области. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1987. 216 с.
18. Смагин А. В., Смагина М. В., Вомперский С. Э., Глухова Т. В. Генерирование и выделение парниковых газов в болотах // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1097–1105.
19. Наумов А. В. Углекислый газ и метан в почвах и атмосфере болотных экосистем Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 313–318.
20. Локализация парниковых газов в торфяной толще болот Западной Сибири / А. И. Поздняков, Е. В. Шеин, Н. С. Паников [и др.] // Физика почв. 2003. № 6. С. 697–700.
21. Сезонные изменения растворенного метана в вертикальном профиле болот западнодвинской низины / А. А. Сирин, М. Нильсон, Д. Б. Шумов [и др.] // Доклады Академии наук. 1998. Т. 361, № 2. С. 1–4.
22. Мастепанов М. И. Кинетика газообмена в профиле сфагнового болота: от метаногенеза к эмиссии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 24 с.
23. Инишева Л. И., Юхлин В. И., Зелингер Ф. Ф. Определение температуры почв и торфов терморезисторами ММТ-4. Томск, 1975а. № 36–75.

Смирнов О. Н., аспирант.

**Томский государственный педагогический университет.**

Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru

Голубина О. А., кандидат химических наук, доцент.

**Томский государственный педагогический университет.**

Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru

Порохина Е. В., кандидат биологических наук, доцент.

**Томский государственный педагогический университет.**

Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru

Сергеева М. А., кандидат биологических наук, доцент.

**Томский государственный педагогический университет.**

Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru

*Материал поступил в редакцию 08.06.2012.*

*O. N. Smirnov, O. A. Golubina, M. A. Sergeeva, E. V. Porokhina*

#### **DYNAMICS OF BIOCHEMICAL ACTIVITY AND GAS REGIME OF EUTROPHIC BOG**

Results of enzyme activity and mode of gas (carbon dioxide and methane) in peat deposits of eutrophic bog in climatic conditions in 2011 year are described in the article.

**Key words:** *peat deposit, enzymes, biochemical activity, gas regime.*

Smirnov O. N.

**Tomsk State Pedagogical University.**

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru

Golubina O. A.

**Tomsk State Pedagogical University.**

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru

Porokhina E. V.

**Tomsk State Pedagogical University.**

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru

Sergeeva M. A.

**Tomsk State Pedagogical University.**

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.

E-mail: agroecol@yandex.ru