

5. Веригин Н.Н., Васильев С.В., Куранов Н.П., Шулгин Д.Ф. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. – М.: Колос, 1979. – 336 с.

6. Муратова В.С., Маргулис В.Ю. Содержание токсичных солей в водных вытяжках и почвенных растворах гипсоносных почв Голодной степи // Почвоведение. – 1971. – № 12. – С. 87-99.

7. Заносова В.И., Молчанова Т.Я. Оценка качества подземных вод и степени их пригодности для орошения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6 (152). – С. 49-54.

### References

1. Razvitie melioratsii zemel Altayskogo kraja selskokhozyaystvennogo naznacheniya na 2014-2020 gody [Elektronnyy resurs]: [gos. programma: utv. postanov. Administratsii Altayskogo kraja ot 24.11.2014 No. 520]. – Barnaul, 2014. – 35 с.

2. Tekhnicheskiy otchet po rezul'tatam pochvenno-meliorativnykh izyskaniy «Rekonstruktsiya uchastka orosheniya No. 2 s rasshireniem v OOO

«Zapadnoe» Klyuchevskogo rayona (Platovskoe otdelenie)»: tekst otcheta / ZAO Proektno-izyskatelskiy institut «Altayvodproekt»; ruk. Zatinatskiy M.V. – Barnaul, 2009. – 132 s. – Ispoln. Ivanov A.D., Sekletsov M.P. – Inv. No. 09320.

3. Vorobeva L.A. Khimicheskiy analiz pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1998. – 271 s.

4. Lopatovskaya O.G., Sugachenko A.A. Melioratsiya pochv. Zasolennye pochvy: ucheb. posobie. – Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2010. – 101 s.

5. Verigin N.N., Vasilev S.V., Kuranov N.P., Shulgin D.F. Metody prognoza solevogo rezhima gruntov i gruntovykh vod. – M.: Kolos, 1979. – 336 s.

6. Muratova V.S., Margulis V.Yu. Soderzhanie toksichnykh soley v vodnykh vytyazhkakh i pochvennykh rastvorakh gipsonosnykh pochv Golodnoy stepi // Pochvovedenie. – 1971. – No. 12. – S. 87-99.

7. Zanosova V.I., Molchanova T.Ya. Otsenka kachestva podzemnykh vod i stepeni ikh prigodnosti dlya orosheniya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 6 (152). – S. 49-54.



УДК 631.46

С.И. Завалишин, В.С. Карелина  
S.I. Zavalishin, V.S. Karelina

## ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

## THE EVALUATION OF BIOCHEMICAL POTENTIAL AND FERTILITY INDICES OF SOD-PODZOLIC SOILS WITH THE SECOND HUMUS HORIZON IN FOREST-STEPPE ZONE OF THE ALTAI REGION

**Ключевые слова:** биохимия почв, лесные почвы, дерново-подзолистые почвы, каталаза, уреазы, протеазы, полифенолоксидаза почв, пероксидаза почв, микробиологическая активность почв, второй гумусовый горизонт, минерализация.

Дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны Алтайского края изучены слабо. Представлены данные о биохимическом потенциале и биологической активности верхних и вторых гумусовых горизонтов дерново-подзолистых почв лесостепной зоны Алтайского края. Почвенные разрезы были заложены в Ленточном бору, близ г. Барнаул, а также в Приобском бору, на территории Троицкого, Топчихинского и Зонального районов. В профиле исследуемых почв

отмечаются два максимума численности микроорганизмов в гумусовых горизонтах. Численность микроорганизмов зависит от содержания гумуса в почве, а ферментативная активность – от численности микроорганизмов. Определены коэффициенты минерализации КАА/МПА и коэффициенты гумификации ПФО/ПО по почвенным горизонтам. Во вторых гумусовых горизонтах коэффициент минерализации КАА/МПА выше, чем в дневных горизонтах, однако коэффициент гумификации ПФО/ПО указывает на обратное. Установлено, что различия микробиологического состава дневных и вторых гумусовых горизонтов обуславливают различие в активности полифенолоксидазы в профиле исследуемых почв. Пероксидазный потенциал дневных и вторых гумусовых горизонтов имеет близкие значения.

**Keywords:** soil biochemistry, forest soils, sod-podzolic soils, catalase, urease, protease, peroxidase, polyphenol oxidase, soil microbiological activity, the second humus horizon, mineralization.

The sod-podzolic soils with the second humus horizon of the forest-steppe zone of the Altai Region are understudied. This paper presents the data on the biochemical potential and biological activity of the top and second humus horizons of sod-podzolic soils of the forest-steppe zone of the Altai Region. The soil profile cuts were made in the Belt pine forest near Barnaul and in the Priobskiy pine forest on the territory of Troitskiy, Topchikhinskiy and Zonalniy Districts. In the profiles of the studied soils there are two maxima of the number of microorganisms in the humus horizons. The num-

ber of microorganisms depends on the humus content in the soil and the enzymatic activity depends on the number of microorganisms. The coefficients of mineralization (starch-and-ammonia agar / meat-and-peptone agar) and the coefficients of humification (polyphenol oxidase / peroxidase) in the soil horizons were determined. In the second humus horizons, the coefficients of mineralization (starch-and-ammonia agar / meat-and-peptone agar) were higher than in the day horizon, however, the coefficients of humification (polyphenol oxidase / peroxidase) indicated the opposite. It has been found that the differences in the microbiological composition of the day and second humus horizons cause the difference in the activity of polyphenol oxidase in the profiles of the studied soils. Peroxidase potentials of day and second humus horizons have close values.

**Завалишин Сергей Иванович**, к.с.-х.н., доцент каф. почвоведения и агрохимии, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: serg11zav@mail.ru.

**Карелина Виктория Сергеевна**, магистрант, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: pochva22@mail.ru.

**Zavalishin Sergey Ivanovich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, Altai State Agricultural University. E-mail: serg11zav@mail.ru.

**Karelina Viktoriya Sergeevna**, master's degree student, Altai State Agricultural University. E-mail: pochva22@mail.ru.

### Введение

Ценность почвы как компонента экосистемы невозможно переоценить, ведь она определяется не только значимостью для сельского и лесного хозяйства, но и биосферы Земли в целом. Почвенный покров находится в непрерывной эволюции, испытывает изменения направленности почвообразующего процесса.

До сих пор существует множество почвенных разностей, образований, генезис которых является спорным, дискуссионным вопросом. Примером могут послужить дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом. Наибольшее распространение таких почв приурочено к южнотаежной подзоне Западной Сибири [1].

Относительно происхождения данных почв существует несколько обособленных гипотез. Существует мнение, что вторые гумусовые горизонты являются реликтовыми образованиями, оставшимися от мощных черноземовидных и луговых почв в период оптимума голоцена [2]. В противовес этой гипотезе можно рассмотреть точку зрения, согласно которой вторые гумусовые горизонты являются современными образованиями, происхождение которых связано с миграцией гуминовых кислот по профилю [3], или осаждению на мерзлотных, геохимических, кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных барьерах [4].

В Алтайском крае среди дерново-подзолистых почв лесостепной зоны спорадически встречаются вторые гумусовые горизонты (ВГГ). Однако ранее данные почвенные образования в крае практически не изучались. Дерново-подзолистые почвы Алтайского края имеют значительные отличия физико-химических свойств от таковых почв на территории южной тайги. Они являются интразональными, формируются под влиянием особых условий почвообразования.

По нашему мнению, происхождение вторых гумусовых горизонтов в профиле дерново-подзолистых почв лесостепной зоны Алтайского края полигенетично и нуждается в детальном изучении для формирования собственной гипотезы. Для того чтобы приблизиться к разгадке генезиса вторых гумусовых горизонтов, необходимо определить современное состояние и экологическую роль данных почв, оценить их биохимический потенциал.

Биологическая активность в целом и микроорганизмы в частности является очень значимой и наиболее реактивной частью почвы, им принадлежит ведущая роль в трансформации органических и минеральных веществ [5]. В связи с этим для познания природы ВГГ необходимо оценить биологическую активность профиля данных почв.

**Цель** – определить биохимический потенциал дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны Алтайского края.

### Объекты и методы

В работе исследовали биохимический потенциал и биологическую активность дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом, распространенных в лесостепной зоне Алтайского края. Заложение почвенных профилей и отбор образцов проводили в условиях Барнаульской ленты Ленточного бора, близ г. Барнаула, а также в Приобском бору на территории Троицкого, Топчихинского и Зонального районов. Климатические условия теплые, недостаточно увлажненные, районы исследований входят в IIIг агроклиматическую зону края [6]. Почвообразующие породы – древнеаллювиальные отложения четвертичного периода. Исследования проводили в удалении от рек и озер, на плакорах местности, при ясно выраженном западно-бугристом микрорельефе. Естественная растительность древесная, светлохвойная. Главная порода – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) [7], состав древостоя в Барнаульской ленте и Приобском бору (Троицкий, Зональный районы) 10С, а также 8С1Б1О в Приобском бору, на территории Топчихинского района.

Исследуемые почвы характеризуются слабокислой и кислой реакцией среды, по профилю колеблется в пределах  $pH_c$  3,9-5,13. Обеспеченность элементами питания низкая по всему профилю, с максимумами в гумусово-аккумулятивных и вторых гумусовых горизонтах ( $P_2O_5 = 0,9-1,25$  мг/100 г,  $K_2O = 1,16-2,28$  мг/100 г). Насыщенность почв основаниями в гумусово-аккумулятивных горизонтах составляет 42,2-57,9%, вниз по профилю увеличивается и достигает во вторых гумусовых горизонтах 58,8-75,6%.

Характерной особенностью данных почв является наличие вторых гумусовых горизонтов в виде серых или темно-серых сплошных полос или пятен на фоне осветленной элювиальной толщи. Наличие ВГГ подтверждают результаты анализа на содержание гумуса. В дневном гумусово-аккумулятивном горизонте его содержание составляет 1,68-2,92%, затем снижается до 0,1-0,42%, и на различной глубине (от 14 до 36 см и более) достигает 1,04-2,78%.

Гранулометрический состав всех исследуемых почв песчаный, рыхлый, с долей фракции физического песка до 99,36% в элювиальном горизонте.

Отбор почвенных образцов из почв со вторым гумусовым горизонтом проводили через каждые 10 см. Для проведения биохимических и микробиологических анализов соблюдали стерильность.

Физико-химические свойства почв определяли согласно общепринятым в почвоведении методикам [8].

Активность почвенных ферментов – по следующим методикам: протезу – аппликационным методом Е.Н. Мишустина, Д.Н. Никитина и И.В. Вострова, разложение желатиновой эмульсии – на фотопленке; каталазу – газометрическим методом А.Ш. Галстяна, уреазную активность устанавливали по изменению уровня pH, активность полифенолоксидазы и пероксидазы – по Козлову [9].

Численный и качественный состав микроорганизмов оценивали после проведения посева почвенной суспензии на плотные питательные среды (МПА, КАА, среду Чапека и подкисленную среду Чапека). Идентификацию микроорганизмов до рода осуществляли визуально на основании морфологии колоний и клеток в фиксированных препаратах [10].

Математическую и статистическую обработку результатов анализов проводили при помощи встроенного пакета данных Microsoft Excel 2019.

### Результаты исследования

Потенциальную биологическую активность почв определяли по активности ферментов каталазы (участвующей в разложении токсичной перекиси водорода, продуцируемой микроорганизмами), протезы (участвующей в разложении белковых соединений) и уреазы (катализирующей реакцию расщепления мочевины в почве) и численности микроорганизмов в профиле дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом.

На рисунке 1 представлен график активности почвенных ферментов и численности микроорганизмов, на котором также отражено изменение содержания гумуса в профиле дерново-подзолистой почвы с ВГГ.

По рисунку видно, что пики максимальной биологической активности почвы соответствуют содержанию гумуса по горизонтам, при этом наивысшая активность характерна для дневного гумусово-аккумулятивного и второго гумусового горизонтов.

Численность микроорганизмов в почве зависит от содержания гумуса. Коэффициент корреляции 0,74 указывает на прямую высокую связь, при этом график численности микроорганизмов не полностью повторяет график содержания гумуса.

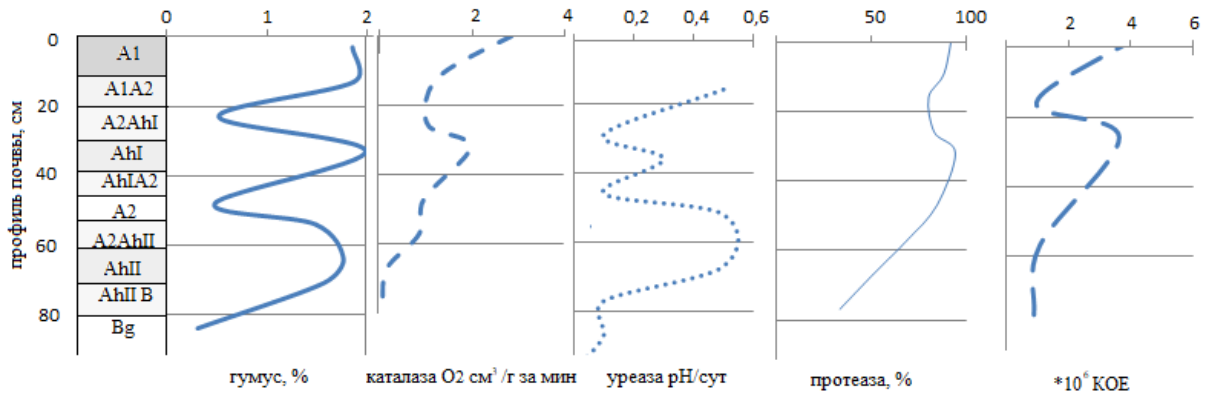


Рис. 1. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы со вторым гумусовым горизонтом

Особенность строения почвенного профиля, его трехчленная дифференциация с внедрением второго гумусового горизонта в элювиальную толщу обуславливает особенность своеобразного расселения групп микроорганизмов [5]. Это своеобразие заключается, прежде всего, в том, что наибольшее число микроорганизмов содержится в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте почвы ( $4,45 \cdot 10^6$  КОЕ), а также во втором гумусовом ( $3,63 \cdot 10^6$  КОЕ). В переходном горизонте между гумусовыми значительно снижается ( $0,98 \cdot 10^6$  КОЕ) и постепенно уменьшается после ВГГ ( $1,09 \cdot 10^6$  КОЕ).

Микробиологическим процессам в дерново-подзолистых почвах свойственна чрезвычайная динамичность, обусловленная резкими колебаниями температуры, запасов органического вещества в почве, степенью ее кислотности и другими факторами [5].

Коэффициент минерализации соотношения численности микроорганизмов на плотных питательных средах КАА/МПА показывает значительные различия в процессах, происходящих в гумусовых горизонтах [9]. В верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте соотношение КАА/МПА близко к 1,0, это указывает на уравновешенность процессов разложения азотсодержащих органических веществ и минерализации (рис. 2).

Во втором гумусовом горизонте отмечается значительное увеличение численности утилизаторов безазотистой органики, по сравнению с аммонификаторами, что приводит к увеличению соотношения КАА/МПА до 2,66, следовательно, в ВГГ процессы минерализации идут более интенсивно, чем в верхнем гумусовом горизонте.

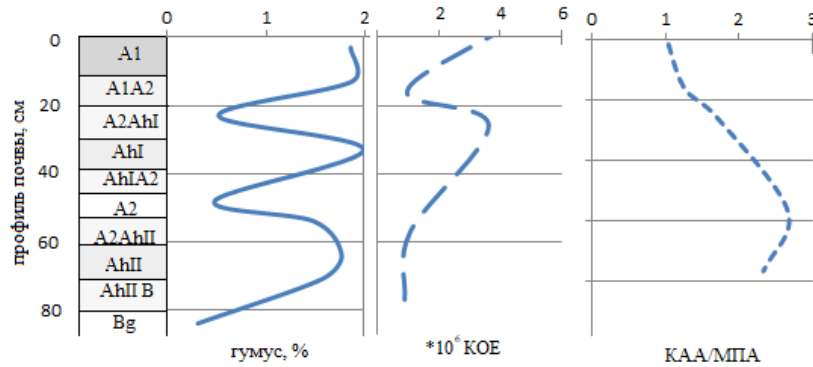
Наиболее многочисленная группа микроорганизмов, разрушающих безазотистые соединения, – актиномицеты, их процентная численность от общего числа микроорганизмов максимальна в ВГГ и в горизонте, расположенном под ВГГ. Дан-

ная группа микроорганизмов активно продуцирует целлюлозаразрушающие ферменты, а также полифенооксидазу, обуславливающую превращение органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса [9].

Акцептором водорода для полифенооксидазы служит атмосферный кислород. Высокую аэрацию дерново-подзолистых почв обеспечивает рыхло-песчаный гранулометрический состав [11]. Сочетание хорошей аэрируемости и повышенной численности грибной микрофлоры приводит к увеличению активности полифенооксидазы во втором гумусовом горизонте по сравнению с дневным гумусовым горизонтом.

В качестве акцепторов электронов пероксидазы является перекись водорода, разложение которой катализирует фермент каталаза, продуцируемый почвенными микроорганизмами. Уровень каталазы в верхнем и втором гумусовом горизонте находится на одном уровне, таким образом активность пероксидазы также изменяется незначительно.

Коэффициент гумификации отношения активности фермента полифенооксидаза (ПФО) к активности фермента пероксидаза (ПО) в верхних гумусовых горизонтах (отношение ПФО/ПО) составляет 0,0-0,25, что указывает на интенсивное окисление гумуса, вероятно, связанное с поступлением свежего органического вещества на поверхность почвы. Во вторых гумусовых горизонтах данное отношение ПФО/ПО 0,28-0,77, поскольку увеличивается активность полифенооксидазы, а активность пероксидазы изменяется незначительно по сравнению с верхним гумусовым горизонтом. Окисление фенолов и превращение их в компоненты гумуса происходят более интенсивно, чем в дневных гумусовых горизонтах, минерализация снижается и происходит трансформация гумуса в более устойчивую форму.



**Рис. 2. Интенсивность минерализации в профиле дерново-подзолистой почвы со вторым гумусовым горизонтом**

Мы предполагаем, что данная особенность активности полифенолоксидаз и пероксидаз является одним из факторов сохранения вторых гумусовых горизонтов в профиле песчаных дерново-подзолистых почв лесостепной зоны Алтайского края.

Коэффициент минерализации КАА/МПА и коэффициент гумификации ПФО/ПО указывают на различную направленность окисления и гумусообразования. Поэтому использовать один показатель для оценки активности минерализации гумуса нерационально.

Среди микроскопических грибов чаще всего встречались представители родов *Penicillium*, *Mucor*, они образуют колонии с воздушным мицелием белого, серого, темно-серого (черного) и голубоватого цветов. Также в гумусовых горизонтах на подкисленной среде Чапека были обнаружены колонии *Trichoderma*, *Alternaria*, их численность была выше в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте.

На среде МПА были идентифицированы следующие роды микроорганизмов – *Bacillus*, *Sarcina*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*. При этом наиболее многочисленными в верхнем и втором гумусовом горизонте *Bacillus*. В верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте отмечено большее разнообразие видов данного рода. Для обоих гумусовых горизонтов характерно наличие колоний *Bacillus cereus* и *Bacillus mycoides*, при этом максимальная численность отмечена в верхних гумусовых горизонтах, в ВГГ – единично.

Численность микроорганизмов сказывается на активности почвенных ферментов. Коэффициент корреляции 0,93 указывает на высокую прямую связь численности микроорганизмов и обеспеченности почвы каталазой. По уреазе и протеазе также получены высокие коэффициенты корреляции, соответственно, равные 0,83 и 0,72.

Из указанных ферментов наибольшая активность отмечена по протеазе (рис. 1). Разложение желатиновой эмульсии на фотопленке достигает 93-94% в гумусово-аккумулятивном и втором гумусовом горизонтах. Вероятно, это связано с повышенной активностью грибной микрофлоры, в значительном количестве продуцирующей протеазы.

В целом, биохимический потенциал вторых гумусовых горизонтов аналогичен с биохимическим потенциалом дневных горизонтов. Однако существуют различия в коэффициентах гумификации ПФО/ПО, обусловленные различием в групповом составе микроорганизмов и, как следствие, активностью полифеноксидаз и пероксидаз.

### Выводы

Биологическая активность верхних гумусовых горизонтов дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны Алтайского края соответствует представлению о дерново-подзолистой почве. Наличие второго гумусового горизонта является причиной формирования второго максимума биологической активности почв. Коэффициент корреляции содержания гумуса в почве и численности микроорганизмов 0,74 указывает на наличие тесной прямой связи. Активность почвенных ферментов напрямую зависит от численности микроорганизмов.

Качественный состав микроорганизмов имеет следующие особенности: численность грибов максимальна в гумусовых горизонтах, в переходных данная группа микроорганизмов не встречается; соотношение численности микроорганизмов на КАА/МПА свидетельствует об уравновешенности минерализации и разложении органических веществ в гумусово-аккумулятивном горизонте и об интенсивном процессе минерализации во втором гумусовом горизонте.

Коэффициент гумификации ПФО/ПО во вторых гумусовых горизонтах выше, чем в дневных горизонтах, в связи с особенностью группового состава микроорганизмов. Предполагаем, что данная особенность биохимического потенциала обуславливает сохранность второго гумусового горизонта в профиле рыхло-песчаных дерново-подзолистых почв лесостепной зоны Алтайского края.

### Библиографический список

1. Национальный Атлас почв Российской Федерации / под ред. чл.-корр. РАН С.А. Шоба. – М.: Астрель, АСТ, 2011. – 632 с.
2. Петров Б.Ф. Почвы Алтайско-Саянской области // Труды Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. – 1952. – С. 35.
3. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
4. Нечаева Е.М., Щетникова А.И. О почвах со вторым гумусовым горизонтом Сибири // Почвоведение. – 1982. – № 3. – С. 5-12.
5. Аристовская Т.В. Микробиология подзолистых почв. – М.; Л.: Наука, 1965. – 186 с.
6. Агроклиматические ресурсы Алтайского края. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 256 с.
7. Природные условия и естественные ресурсы СССР. Западная Сибирь. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 487 с.
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
9. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48-54.
10. Практикум по микробиологии / под ред. Н.С. Егорова. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 308 с.
11. Апарин Б.Ф., Забоев И.В., Липкина Г.С. и др. Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР (на песчаных почвообразующих породах). – Л.: Наука, 1981. – С. 9.

12. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.: Наука, 1982. – 203 с.

### References

1. Natsionalnyy Atlas pochv Rossiyskoy Federatsii / pod red. chl.-korr. RAN S.A. Shoba. – M.: Astrel, AST, 2011. – 632 s.
2. Petrov B.F. Pochvy Altaysko-Sayanskoy oblasti // Trudy Pochvennogo in-ta im. V.V. Dokuchaeva. – 1952. – S. 35.
3. Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. Gumus i pochvoobrazovanie (metody i rezultaty izucheniya). – L.: Nauka, 1980. – 222 s.
4. Nechaeva Ye.M., Shchetnikova A.I. O pochvakh so vtorym gumusovym gorizontom Sibiri // Pochvovedenie. – 1982. – No. 3. – S. 5-12.
5. Aristovskaya T.V. Mikrobiologiya podzolistykh pochv. – M.; L.: Nauka, 1965. – 186 s.
6. Agroklimaticheskie resursy Altayskogo kraya. – L.: Gidrometioizdat, 1971. – 256 s.
7. Prirodnye usloviya i estestvennye resursy SSSR. Zapadnaya Sibir. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. – 487 s.
8. Arinushkina, Ye.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1970. – 487 s.
9. Zvyagintsev D.G. Biologicheskaya aktivnost pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh ee pokazateley // Pochvovedenie. – 1978. – No. 6. – S. 48-54.
10. Praktikum po mikrobiologii / pod red. N.S. Yegorova. – M.: Izd-vo MGU, 1976. – 308 s.
11. Aparin B.F. Podzolistye pochvy tsentralnoy i vostochnoy chastey evropeyskoy territorii SSSR (na peschanykh pochvoobrazuyushchikh porodakh) / Aparin B.F., Zabojev I.V., Lipkina G.S. i dr. – L.: Nauka, 1981. – S. 9.
12. Khaziev, F.Kh. Sistemno-ekologicheskii analiz fermentativnoy aktivnosti pochv. – M.: Nauka, 1982. – 203 s.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №18-34-00421, мол\_a.*

