

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.46:627.160:551.482.6(571.54)

doi: 10.17223/19988591/42/1

Э.О. Макушкин

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Сравнительная оценка биологической активности почв верхней дельты р. Селенга по содержанию ферментов

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 5.1.1 «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» специализированных отделений РАН.

Почвы верхней дельты р. Селенга формируются в засушливых условиях и испытывают значительную пастбищную нагрузку, что негативно сказывается на их способности выполнять экосистемные функции. Цель исследования – оценить биологическую активность почв дельты, развивающихся в условиях климатических и антропогенных стрессов. В качестве индикаторов степени биологической активности выбраны ферменты каталаза, протеаза и уреазы. Показано, что в период максимального прогревания в почвах всех биотопов наиболее высокое содержание имеет протеаза. Установлено, что для гумусовых горизонтов всех исследованных почв характерно высокое содержание каталазы, а в погребенных гумусовых горизонтах и песчаном аллювии (гор. С) – среднее. По содержанию уреазы почвы характеризуются слабой биологической активностью. Выявлено повышение биологической активности в почвах биотопов, где имело место поступление свежего растительного опада по причине засушливых условий, а в центральной пойме ещё и отходов жизнедеятельности крупнорогатого скота. Почвы понижений в центральной пойме более увлажнены, имеют более высокое содержание гумуса и физической глины, чем почвы островов, поэтому биологическая активность у них выше ($P_U < 0,05$).

Ключевые слова: флювисоли; каталаза; протеаза; уреазы, засушливость; пастбищное использование.

Введение

Дельта р. Селенга (далее – дельта) представляет собой во всех отношениях уникальное природное образование. Это – единственная в мире пресноводная дельтовая экосистема площадью более 1 тыс. км², включенная в список особо охраняемых природных объектов Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях [1]. Существенна роль современной дельты этой реки – главного притока уникального оз. Байкал как естественного природного

фильтра. Сам же Байкал внесен в Список мирового природного наследия ЮНЕСКО в 1996 г. Отсюда актуальность рассматриваемой темы исследования предопределена значимостью данных природных объектов.

В целом для дельты характерен полужасушливый с умеренно теплым летом и умеренно малоснежной зимой тип климата. Причинами временного избыточного увлажнения почв здесь являются близко расположенные грунтовые воды и режим ежегодного затопления всей дельты в многоводный период. Почвенный покров верхней дельты лучше прогревается в вегетационный сезон по сравнению с остальными частями дельты вследствие относительной приподнятости рельефа местности и отдаленности от холодного водоема оз. Байкал [2]. Кроме того, растительный покров биотопов ее центральной поймы подвержен влиянию неконтролируемого пастбищного использования, отразившегося на гумусном состоянии почв [3]. Год исследований для региона характеризовался засушливым летом по причине относительной маловодности и высокой температуры воздуха в Забайкалье [4]. Изменение климата региона в сторону потепления происходит «волнообразно» [5], поэтому можно предположить, что погодные условия года исследований могут стать в будущем климатической нормой.

Примеры использования показателя ферментативной активности (ФА) почв отражены во многих публикациях. Так, в работе S. Marinari et al. [6] ФА является одним из эффективных показателей изменения биохимических свойств пойменных почв при повторяющихся вторжениях соленой озерной воды в районе Равенны (Италия). Есть примеры использования этого показателя для оценки воздействия тяжелых металлов на аллювиальные почвы долины р. Висла (Польша) [7]. В последней из названных работ показано, что максимальная ФА присуща для поверхностных слоев (0–10 см) почв по сравнению с нижележащими горизонтами профилей. Применительно к альпийской пойме показано, что гидрологический режим оказывает более существенное влияние на активность ферментов, чем на функционирование микроорганизмов [8]. При исследовании изменения ФА почв дельты р. Желтая (или Хуанхэ, КНР) под влиянием засоления и различных доз свинца (Pb) показано нижеследующее. В почвах с повышением степени солености выявлено уменьшение количества ферментов (каталазы, уреазы). Повышение солености почвы приводило к большей токсичности при влиянии Pb [9]. Биохимические показатели почв, в том числе ФА по каталазе и уреазе, успешно применены для оценки качества влияния четырех видов мелиорантов на засоленные почвы дельты р. Желтая с целью использования этих почв в сельском хозяйстве [10]. Уреазная активность почв использовалась с целью оценки скорости минерализации органического азота в соленых почвах дельты этой реки при использовании в качестве мелиоранта биоугля [11]. Для этих почв показано, что на активность ферментов влияют соленость почвы и микробный состав сообщества. Активность каталазы, протеазы и уреазы в почве сообщества с доминированием тамарикса (*Tamarix chinensis*

Lour.) значительно выше, чем в растительных сообществах с иными доминантами – сведы (*Suaeda salsa* (L.) Pall.) и тростника (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) [12].

В почвах современной дельты (выдвижения) р. Селенга ранее исследовалась ФА почв [13, 14]. Наряду с дерновой лесной и луговой почвами исследовалась ФА аллювиальной пойменно-луговой и лугово-болотной почв в краевой юго-восточной придельтовой части р. Селенга, хотя в названиях звучит выражение «Selenga river delta» [15, 16]. Авторами работ установлена средняя степень ФА почв по обогащенности их каталазой и уреазой, судя по их численным значениям. Существует необходимость тщательного исследования почвенного покрова дельты по состоянию на данный период времени в связи с прогнозом уменьшения речного стока, которое может быть обусловлено строительством трех ГЭС в Монголии: на р. Селенга и двух ее основных притоках – Эгийн-гол и Орхон [17]. Например, после завершения строительства плотины на р. Сенегал в 1988 г. изменение гидрологического режима реки в сторону иссушения привело к гиперзасолению нижнего лимана [18]. Цель данной работы – исследование биологической активности почв (по содержанию ферментов) островов (о-вов) верхней дельты и центральной поймы (ц. п.) р. Селенга.

Материалы и методики исследования

Материалом для исследований служили образцы почв, отобранные из верхних наиболее биологически активных генетических гумусовых горизонтов в конце второй декады августа 2005 г. в период максимального прогревания почвенного покрова дельты. Объекты исследований – аллювиальные почвы островов и верхней дельты Селенги вблизи с. Мурзино Кабанского района Республики Бурятия. Закладку почвенных разрезов и морфологический анализ профиля осуществляли согласно методическим рекомендациям Б.Г. Розанова [19]. Наименования почв приведены по [20]. Наименования по классификации почв СССР [21] представлены при первом упоминании в табл. 1. По *WRB* эти почвы относятся к флювисолям (*Fluvisols*) [22].

Всего заложено 8 почвенных разрезов – разрезы с 1-05 по 5-05 (июль 2005 г.) на островах и с 6-05 по 8-05 (август 2005 г.) в центральной пойме (рис. 1). Морфологические описания почвенных разрезов, результаты с данными физических и агрохимических свойств изложены в монографии [13] и в статьях [23, 24]. В данных работах показано преимущественное распространение здесь типа аллювиальной гумусовой (дерновой) почвы и слоисто-аллювиальной гумусовой почвы. Учитывая вышеизложенные обстоятельства, в данной статье даются обобщенные формулы морфологического строения профилей почв по субстантивно-генетической классификации [20]. Наименования исследованных почв представлены в заглавной таблице. Ландшафтно-экологические особенности биотопов описаны в работе [13].

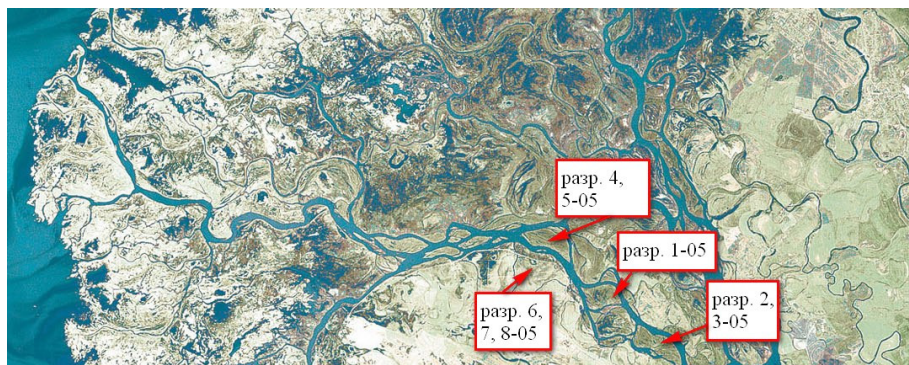


Рис. 1. Местоположения почвенных разрезов в верхней дельте р. Селенга.

Космический снимок взят из Google maps

[Fig. 1. Locations of soil profiles in the upper delta of the Selenga river. Photo was taken from Googlemaps]

Краткая характеристика биотопов островов. Разр. 1-05 заложен на ключевом участке в 800 м выше по течению от с. Мурзино на острове с местным названием Свиный (52°10'30"N и 106°29'E), в 6 м от берега реки на прирусловом валу. От уреза воды берег поднимается на 2 м. Растительность представлена осоково-разнотравным сообществом. Присутствует осока двуокрашенная (*Carex dichroa* (Freyn) V. Krecz.), произрастающая на сырых и болотистых лугах, по берегам рек и озер [25]. В разнотравье представлено 10 видов. Высота травостоя до 70 см. Проективное покрытие 100%. Используется как сенокос.

Разр. 2-05 заложен на ключевом участке о-ва Митрошина в 3 км от с. Мурзино выше по течению реки (52°10'20"N и 106°30'E), на стыке основного русла Селенги со старицей, в 7 м от реки. Низкая пойма. Лугово-разнотравно-клеверное сообщество. Доминанта – клевер ползучий (*Trifolium repens* L.). В луговом разнотравье представлено 6 видов. Высота травостоя 15 см. Проективное покрытие 90%.

Разр. 3-05 заложен на ключевом участке в 30 м от берега основного русла Селенги, на прирусловом валу старицы на о-ве Митрошина (52°10'30"N и 106°29'30"E). Под разнотравно-хвощово-осоковым растительным сообществом. Доминанта – осока двуокрашенная. Среди разнотравья присутствует 5 видов. Вокруг кустарник из сочетания смородины (*Ribes* sp. L.) и ивняка (*Salix* sp. L.), есть береза повислая (*Betula pendula* Roth). Высота травостоя до 40–50 см. Проективное покрытие 100%. Используется как сенокос.

Разр. 4-05 (13.07.2005 г.) заложен недалеко от с. Мурзино, на правой стороне по течению основного русла Селенги на о-ве Жилище, примерно в 50 м от берега. Здесь прирусловой вал, образованный вслед за широким прирусловым понижением (52°11'20"N и 106°29'40"E). Относительно уровня

реки участок возвышается примерно на 1,5 м. Растительность представлена мохово-хвощово-осоковым сообществом. Доминанта – осока безжилковая (*C. enervis* С.А. Meyer). Присутствует хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), высота травостоя 60 см. Проективное покрытие 90%.

Разр. 5-05 (13.07.2005 г.) заложен на ключевом участке примерно в 500 м на северо-запад от разр. 4-05 на том же о-ве. Юго-восточная краевая часть засыхающего затона, соответственно место пониженное (52°11'20"N и 106°29'30"E). Преимущественно под тростниковой растительностью (*Phragmites australis* Gav.) с редким присутствием хвоща речного (*E. fluviatile* L.). Высота травостоя примерно до 200 см. Проективное покрытие 100%.

Краткая характеристика местоположения биотопов центральной поймы.

Разр. 6-05 (14.07.2005 г.) заложен на ключевом участке примерно в 1 км на восток от с. Мурзино (52°11'30"N и 106°29'E), на краю русла затона Селенги, зарегулированного дамбой, а ныне небольшого пруда, в понижении местности. Под разнотравно-осоковым растительным сообществом, сбитым в результате нерегулируемого выпаса крупнорогатого скота (КРС). Доминанта осока двуокрашенная. Среди разнотравья присутствуют: лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis* L.), клевер ползучий, подорожник прижатый (*Plantago depressa* Schlecht.). Высота травостоя 20 см. Проективное покрытие 80%.

Разр. 7-05 (21.08.2005 г.) заложен на ключевом участке в 200 м от искусственной дамбы восточнее с. Мурзино (52°11'28"N и 106°29'E). В ландшафте рядом преобладает кочкарник. Это ложе крупного старичного русла протоки Селенги. Местность низинная. Под разнотравно-осоковым растительным сообществом. Доминанта – осока двуокрашенная. В разнотравье – те же виды, что и в биотопе с разр. 6-05. Высота травостоя всего 10–15 см в связи с выпасом КРС. Проективное покрытие 80%. Имеет пастбищное значение.

Разр. 8-05 (21.08.2005 г.) заложен **на ключевом участке** в 1,5 км на восток от с. Мурзино, возвышенным, примерно в 500 м от русла реки. С восток в 100 м – старичное русло, зарегулированное дамбой от современной протоки основного русла Селенги (52°11'20"N и 106°29'E). Здесь разнотравно-осоковое растительное сообщество, выбитое КРС. Доминанта – осока безжилковая, распространенная на низкотравных сырых лугах, чаще долинных, нередко засоленных [25]. Среди разнотравья – одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg), лапчатка бесстебельная, подорожник прижатый. Высота травостоя примерно 10 см в связи с интенсивным выпасом КРС. Проективное покрытие примерно 70%.

Температуру почвы измеряли коленчатыми термометрами Савинова. Весовым методом определяли полевую влажность почвенных образцов, высушивая их при 105°C. Эмиссию углекислоты определяли в лабораторных условиях газовой хроматографическим методом на хроматографе «CHROM-4» (ЧССР) с катарометром в качестве детектора.

ФА почв исследовали по стандартным методикам, описанным в практическом руководстве К.Ш. Казеева и соавт. [26]. Согласно методикам использовали свежие воздушно-сухие почвенные образцы, очищенные от камней и растительных остатков и просеянные через сито с диаметром отверстий 1 мм с одинаковой навеской (1 г), при естественных значениях pH и при постоянной температуре 30°C, кроме каталазы – 20°C, активность которой определяется газометрически. Оценку степени обогащенности почв ферментами проводили по шкале Д.Г. Звягинцева, представленной в вышеназванном руководстве. БА почв по количеству выделения CO₂ и содержанию ферментов определяли по шкале, представленной также в данном руководстве. Содержание водорастворимых фракций аммония и нитратов определяли по В.Б. Замятиной [27]; pH – потенциометрически; гранулометрический состав – с использованием 4%-ного пиррофосфата натрия; углерод и гумус в почвенных образцах – по методу И.В. Тюрина, описанному Н.П. Бельчиковой [27].

Данные обработаны в StatSoft STATISTICA 5.0 и Microsoft Excel 2010. Результаты по содержанию ферментов представлены в виде средней арифметической с доверительными интервалами, повторность пятикратная. Статистически значимые различия выборок по исследуемым показателям сравнительно между почвами островов и центральной поймы оценивали по критерию *U* (Вилкоксона–Манна–Уитни) [28].

Результаты исследования и обсуждение

Доминирующими растительными сообществами в исследованных биотопах являются разнотравно-хвощово-осоковые, мохово-хвощово-осоковые, осоково-разнотравные и лугово-разнотравно-клеверные. В целом биотопы ц.п. уступают биотопам о-вов по видовому разнообразию растений, по высоте травостоя и по проективному покрытию. Налицо влияние пастбищного использования участков ц.п. дельты. По содержанию каталазы исследованные горизонты почв почти всех биотопов имели высокую степень БА (пределы 10–30 см³ O₂ за 1 мин на 1 г) по применяемой шкале (далее – шкала) (см. табл. 1). Исключение составили песчаный гор. С ~g,@ (7–25,5 см) разр. 4-05 и гор. [AYg,@] (8–13,5 см) в разр. 7-05, в которых средняя степень БА по шкале. В первом случае почва по гранулометрическому составу – песок рыхлый, в котором содержание гумуса не определялось, во втором – супесь, с содержанием гумуса, подпадающим под градацию «малое» по шкале Д.С. Орлова и соавт. [29] (далее – шкала Орлова). Соответственно полевая влажность в первом случае минимальная, а во втором – значительно выше (табл. 2).

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

Эмиссия CO₂, ферментативная активность и содержание аммонийной и нитратной форм азота в аллювиальных почвах верхней дельты р. Селенга 20 августа 2005 г.

[CO₂ emission, enzyme activity and the content of ammonium and nitrate forms of nitrogen in alluvial soils of the Selenga river upper delta, 20 August 2005]

Номер разреза, глубина взятия образца, см [Profile number, depth of sample taking, cm]	Выделение CO ₂ мг / 10 г почвы в сутки [CO ₂ emission mg/10g of soil per day]	Ферментативная активность [Enzyme activity]			NH ₄ ⁺ мг / 100 г почвы [NH ₄ ⁺ mg / 100 g of soil]	NO ₃ ⁻ мг / 100 г почвы [NO ₃ ⁻ mg / 100 g of soil]
		Каталаза, см ³ O ₂ за 1 мин на 1 г [Catalase, cm ³ O ₂ for 1 min per 1 g]	Протеаза, мг аминного азота / 10 г почвы за 24 часа [Protease, Mg of amine nitrogen / 10 g of soil for 24 h]	Уреаза, мг NH ₃ 10 г почвы за 24 ч [Urease, mg NH ₃ / 10 g of soil for 24 h]		
1	2	3	4	5	6	7
Почвы островов [Soils of islands]						
* аллювиальная гумусовая (глееватая, криотурбированная) [alluvial humus (gley, cryoturbated)], ** аллювиальная дерновая кислая слоистая [alluvial sod acid layered], разр. 1-05 [profile]						
IAyg.@ (1,5–6)	4,76±0,12	19,23±0,46	5,4±0,2	5,15±0,13	0,6±0,04	1,54
IIAYg.@ (6–14,5)	5,41±0,15	16,93±0,43	5,7±0,2	5,06±0,13	0,96±0,03	1,98
* слоисто-аллювиальная гумусовая (глееватая, криотурбированная) [layered-alluvial humus (gley, cryoturbated)], ** аллювиальная дерновая насыщенная слоистая примитивная [alluvial sod saturated layered primitive], разр. 2-05 [profile]						
IW@ (1–4)	5,07±0,12	18,2±0,43	6,7±0,3	5,45±0,13	0,74±0,03	1,8
IIWg.@ (4–11)	4,77±0,11	13,8±0,43	5,1±0,2	4,86±0,12	0,51±0,04	1,47
* слоисто-аллювиальная гумусовая (криотурбированная), сформированная на погребенной аллювиальной гумусовой (криотурбированной) почве [layered-alluvial humus (cryoturbated), formed on buried alluvial humus (cryoturbated) soil], ** аллювиальная дерновая насыщенная слоистая примитивная [alluvial sod saturated layered primitive], разр. 3-05 [profile]						
W@ (1–4)	5,94±0,16	20,43±0,56	0,71±0,03	6,45±0,13	0,84±0,03	1,56
[W@] (6–10)	5,13±0,16	18,9±0,5	0,52±0,02	5,05±0,13	0,79±0,04	1,64
* аллювиальная гумусовая (криотурбированная, поверхностно-оглеенная) [alluvial humus (cryoturbated, surface-gleyed)], ** аллювиальная дерновая насыщенная слоистая примитивная [alluvial sod saturated layered primitive], разр. 4-05 [profile]						
AY@ (0–7)	4,12±0,12	12,2±0,4	4,5±0,2	4,65±0,12	1,01±0,03	1,39
C ~g.@ (7–25,5)	2,24±0,09	5,6±0,3	2,2±0,2	2,84±0,11	0,84±0,04	0,82
* аллювиальная гумусовая (глееватая, криотурбированная) [alluvial humus (gleyed, cryoturbated)], ** аллювиальная лугово-болотная оторфованная [alluvial meadow-bog peat], разр. 5-05 [profile]						
AY@ (0–10)	4,42±0,12	16,86±0,46	5,1±0,2	5,77±0,13	0,98±0,03	1,73
C ~@ (10–21)	3,15±0,11	12,6±0,4	3,6±0,2	3,98±0,11	0,76±0,04	0,68
Почвы центральной поймы [soils of the central floodplain]						
* слоисто-аллювиальная гумусовая (криотурбированная) [layered-alluvial humus (cryoturbated), formed on alluvial humus soil], сформированная на аллювиальной гумусовой почве, ** аллювиальная болотная иловато-глеевая [alluvial bog silty-gleyed], разр. 6-05 [profile]						
W@ (0–3,5)	5,51±0,15	22,56±0,56	7,4±0,3	6,18±0,13	1,17±0,04	1,41

Окончание табл. 1 [Table 1 (end)]

Номер разреза, глубина взятия образца, см [Profile number, depth of sample taking, cm]	Выделение CO ₂ мг / 10 г почвы в сутки [CO ₂ emission mg/10g of soil per day]	Ферментативная активность [Enzyme activity]			NH ₄ ⁺ мг / 100 г почвы [NH ₄ ⁺ mg / 100 g of soil]	NO ₃ ⁻ мг / 100 г почвы [NO ₃ ⁻ mg / 100 g of soil]
		Каталаза, см ³ O ₂ за 1 мин на 1 г [Catalase, cm ³ O ₂ for 1 min per 1 g]	Протеаза, мг аминного азота / 10 г почвы за 24 часа [Protease, Mg of amine nitrogen / 10 g of soil for 24 h]	Уреаза, мг NH ₃ 10 г почвы за 24 ч [Urease, mg NH ₃ / 10 g of soil for 24 h]		
[AYg,@] (3,5–22,5)	4,72±0,11	13,46±0,46	4,8±0,2	4,94±0,12	0,98±0,03	0,93
* слоисто-аллювиальная гумусовая (глееватая, криотурбированная), сформированная на аллювиальной гумусовой почве [layered-alluvial humus (gleyed, cryoturbated), formed on alluvial humus soil], ** аллювиальная луговая насыщенная слоистая примитивная [alluvial meadow saturated layered primitive], разр. 7-05 [profile]						
IWg,@(0–3/5)	6,77±0,22	22,46 ±0,63	7,7±0,3	7,07±0,13	0,98±0,04	1,19
IIWg,@(3/5–8)	4,27±0,12	12,26±0,4	5,9±0,2	5,67±0,12	0,74±0,03	1,01
[AYg,@] (8–13,5)	2,75±0,11	8,53±0,33	2,8±0,1	3,76±0,11	1,04±0,04	2,54
* аллювиальная гумусовая (квазиглееватая, криотурбированная) [alluvial humus (quasigleyed, cryoturbated)], **аллювиальная луговая насыщенная слоистая примитивная [alluvial meadow saturated layered primitive], разр. 8-05 [profile]						
IAYq,@(0–5,5)	8,13±0,25	25,06±0,7	8,1±0,2	8,71±0,13	0,71±0,03	1,59
IIAYq,@ (5,5–14,5)	5,16±0,18	20,46±0,66	6,1±0,2	6,97±0,13	0,82±0,04	1,03

Примечание. m ± SD – средняя арифметическая величина ± стандартное отклонение;

*по новой классификации почв России [20], идентифицированы в работах [23, 24]; **по классификации почв 1977 г. [21], идентифицированы Э.О. Макушкиным и соавт. [13].

[Note. m ± SD - Arithmetic mean ± Standard Deviation; *according to new classification of soils in Russia [20], identified in works [23, 24]; **according to classification of soils of 1977 [21], identified by EO Makushkin and coauthors [13]].

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Влажность, температура, pH водной вытяжки, содержание физической глины и гумуса аллювиальных почв верхней дельты р. Селенга
[Humidity, temperature, pH of water extract, the content of physical clay and humus alluvial soils of the Selenga river upper delta]

Горизонты [Horizons], см	Полевая влажность [Field humid- ity], %	Температура [Temperature], °C	pH _{водн} [Water pH]	Содержание частиц < 0,01 мм [Particle content 0.01 mm], %	Содер- жание гумуса [Humus content], %
1	2	3	4	5	6
Почвы островов [Soils of islands]					
Разр. 1-05 [profile]					
IAYg,@ (1,5–6)	10,9	25	5,6	20,5	2,1
IIAYg,@ (6–14,5)	8,9	24	6,1	12,7	1,3
Разр. 2-05 [profile]					
IW@ (1–4)	9,6	24	6,9	9,2	0,9
IIWg,@ (4–11)	18,8	23	7,2	10,3	0,5

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

Горизонты [Horizons], см	Полевая влажность [Field humidity], %	Температура [Temperature], °C	pH _{водн} [Water pH]	Содержание частиц < 0,01 мм [Particle content 0.01 mm], %	Содержание гумуса [Humus content], %
Разр. 3-05 [profile]					
W@(1-4)	10,9	26	6,6	9,6	0,9
[W@](6-10)	7,9	25	6,7	8,9	1,4
Разр. 4-05 [profile]					
AY@ (0-7)	12,3	25	6,6	25,7	1,9
C ~g,@(7-25,5)	4,1	24	6,8	4,8	—
Разр. 5-05 [profile]					
AY@ (0-10)	14,8	24	7,3	39,4	4,3
C ~@ (10-21)	4,7	23	7,2	2,0	0,5
Почвы центральной поймы [soils of the central floodplain]					
Разр. 6-05 [profile]					
W@(0-3,5)	27,8	23	7,6	2,2	2,1
[AYg,@](3,5-22,5)	28,9	22	7,6	3,7	1,1
Разр. 7-05 [profile]					
IWg,@(03-/5)	21,7	24	7,3	24,8	4,8
IIWg,@(3/5-8)	12,3	24	7,1	24,5	1,9
[AYg,@](8-13,5)	21,17	23	7,4	13,4	1,8
Разр. 8-05 [profile]					
IAYq,@ (0-5,5)	6,8	26	7,5	15,8	1,1
IIAYq,@ (5,5-14,5)	10,3	25	7,8	16,3	1,1

Примечание. «—» — не определялось; температура воздуха (°C) 20.08.2005 г. в биотопах с разрезами составила: разр. 1-05 — 28°C, разр. 2-05 — 27°C, разр. 3-05 — 28°C, разр. 4-05 — 29°C, разр. 5-05 — 27°C, разр. 6-05 — 26°C, разр. 7-05 — 29°C, разр. 8-05 — 31°C. Максимальные величины — в биотопах возвышенных участков (разрезы 1-05, 3-05, 4-05 и 8-05).

[Note. - not identified; air temperature (°C), 20.08.2005, in biotopes with profiles was: profile 1-05 - 28°C, profile 2-05 - 27°C, profile 3-05 - 28°C, profile 4-05 - 29°C, profile 5-05 - 27°C, profile 6-05 - 26°C, profile 7-05 - 29°C, profile 8-05 - 31°C. Maximum values are in biotopes of elevated areas (profiles 1-05, 3-05, 4-05 and 8-05)].

По содержанию протеазы все почвы имели очень высокую степень БА по шкале (пределы >3 мг аминного азота / 10 г почвы за 24 ч). В двух поверхностных горизонтах почв ц.п. так же, как и в первом случае, БА по данному ферменту выше, чем в почвах о-вов ($P_U < 0,05$). По содержанию уреазы все почвы имели слабую БА по шкале (пределы 3–10 мг NH_3 на 10 г почвы за 24 ч). И в этом случае показатели выше в почвах ц.п., чем в почвах о-вов ($(P_U < 0,05)$; см. табл. 1). По содержанию исследованных ферментов эти почвы не отличаются от почв островов устьевых частей левобережья и правобережья дельты [13, 14].

Наиболее высокая температура воздуха зафиксирована в биотопах возвышенных участков, что отражено в примечании под табл. 2. Соответственно и температура почвы выше в них, чем в почвах понижений ландшафта. Очевидно, что закономерными являются максимальные величины эмиссии CO_2 , характерные для образцов почв возвышенного островного участка р. 3-05

со слабокислой реакцией среды и для образцов почвы р. 8-05 центральной поймы со слабощелочной реакцией среды сравнительно с образцами почв остальных почвенных разрезов соответственно о-вов и центральной поймы (см. табл. 1). Показана значимость повышения температуры для усиления эмиссии CO_2 при инкубации почвенных образцов от 20 до 50°C интервалом через каждые 10°C [30]. Интенсивность дыхания почв повышается в пойме от русла реки к повышению рельефа местности, существенно активизируется их ферментативная и микробиологическая активность [31]. Кроме того, Сарула и соавт. [32] показано, что «умеренный выпас, так же как и сенокосение, могут способствовать поглощению углерода, и чем дольше отсутствует выпас, тем меньше накапливается углерода в типичных степях Китая». Таким образом, авторы данной работы свидетельствуют о благотворном влиянии умеренного пастбищного использования на почвенный покров. Отмечают «чрезвычайно сложное влияние на экосистему пастбищ, биомассу, гранулометрический состав почвы, пористость, влажность и круговорот питательных веществ через стравливание, вытаптывание и поступление экскрементов животных». В статье Э.О. Макушкина и Н.Д. Сорокина [14], посвященной ферментативной активности почв о-вов правобережья дельты Селенги, отмечалось, что «выделение CO_2 микроорганизмами и корнями является интегральным показателем минерализации органического вещества и ускоренного поглощения минеральных элементов растениями». Г.Н. Копчик и соавт. [32] также отмечают, что «эмиссия CO_2 (или дыхание почвы) отражает суммарную продукцию диоксида углерода в результате автотрофного (корни растений) и гетеротрофного (почвенные микроорганизмы и животные) дыхания». Авторами показано, что в результате техногенного загрязнения тяжелыми металлами снижается доля корневого дыхания почв. И чем дальше участки от места выбросов загрязнений, тем больше становится доля корневого дыхания с увеличением массы мелких корней.

Сравнение выборок значений выделения CO_2 из образцов как дневных горизонтов, так и следующих под ними горизонтов почв ц.п. и о-вов верхней дельты по U -критерию выявило статистически значимое различие в пользу почв ц.п. (соответственно, $P_U = 0,05$ и $0,01 < P_U < 0,05$). Причем во втором случае различия более существенны, чем в первом случае.

Содержание аммония максимально в почве разр. 6-05. И здесь достаточно хорошо выражена протеазная и уреазная активность почвы (см. табл. 1). При относительно высокой, по сравнению с почвами других биотопов, полевой влажности. Очевидно, что лучшие условия увлажненности почвы (см. табл. 2) способствовали процессу биотрансформации азотсодержащего ОВ до аммония с некоторым торможением процесса окисления до нитратов. И наоборот, засушливые условия в биотопе р. 8-05 определили большее образование нитратов при окислении аммиака в дневном горизонте. Здесь сравнительно выше содержание ферментов по сравнению с почвами других биотопов. В целом следует отметить, что по содержанию аммония аллюви-

альные почвы верховьев уступали в среднем в 2,4 раза более увлажненным почвам островов низовий дельты около залива Провал. А содержание нитратов, наоборот, примерно в 7–9 раз выше, чем в указанных почвах дельты [14]. Следовательно, при иссушении почв верховьев дельты усиливался процесс окисления аммония до нитратов. Ранее отмечалось, что избытки азота, находящиеся в почвах дельты в виде нитратов и нитритов, активно денитрифицируются микроорганизмами [13].

С учетом наибольшей выраженности ферментативной активности дневных горизонтов исследованных почв проведен корреляционный анализ между рядами их значений по эмиссии CO_2 , содержанию ферментов, аммония и нитратов, с одной стороны, и другими агрохимическими и физическими показателями – с другой (табл. 3).

Можно видеть, что имела место функциональная зависимость между рядами данных по влажности и протеазе. Коэффициенты корреляции и детерминации между ними равны 1. Выявлена сильная корреляционная связь между рядами данных полевой влажности и рядами данных NH_4^+ при высоком значении коэффициента детерминации. Отсюда можно предполагать о стимулировании процесса разложения органического вещества с участием протеазы почв до аммиака при сухости почв. А обратная средней степени корреляция между данными ряда температуры и ряда данных NH_4^+ при ниже среднем отрицательном коэффициенте детерминации предполагает негативное влияние температурного фактора на данный процесс. В то же время выявлена обратная корреляция средней степени между рядами данных по влажности и рядами данных по NO_3^- , что говорит о затруднении процесса нитрификации при сухости почв. Температура почв предполагает усиление этого процесса, судя по прямой слабой степени корреляции между рядами данных температуры и NO_3^- , хотя коэффициент детерминации мал.

Не выявлено корреляционной связи между рядами данных температуры почв и рядами данных других исследованных параметров почв, что показано как по коэффициентам корреляции, так и по коэффициентам детерминации (R^2). Отметим среднюю степень корреляции ряда данных по содержанию NO_3^- с рядом данных по содержанию обменного K_2O при ниже средней степени коэффициента детерминации между ними.

Слабая степень прямолинейной корреляции выявлена между рядами данных по выделению CO_2 , с одной стороны, и, с другой стороны, рядами данных по температуре, $\text{pH}_{\text{водн}}$, содержанию катиона Mg^{2+} и сильная степень корреляции с рядом данных по содержанию катиона Na^+ . В последнем случае коэффициент детерминации близок к 0,8. И средней степени – с данными по содержанию подвижного фосфора, но при этом коэффициент детерминации незначителен. Остальные исследованные агрохимические параметры почв не имели корреляционной связи с выделением CO_2 .

Преимущественно слабая степень обратной корреляции выявлена между рядами данных по эмиссии CO_2 и содержания ферментов, с одной стороны,

и рядом данных по содержанию частиц < 0,01 мм – с другой. Это закономерно, учитывая преимущественно супесчаный характер почв.

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

Значения коэффициентов корреляции (r) и детерминации (R^2) между показателями дневных горизонтов почв верхней дельты р. Селенга
[The values of correlation (r) and determination* (R^2) coefficients between indicators of the daily horizons of soils of the Selenga river upper delta]

Показатели [Indicators]	CO ₂	Каталаза [Catalase]	Протеаза [Protease]	Уреаза [Urease]	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
Полевая влажность [Field humidity], %	-0,05	0,18/0,03*	1,00/1,00*	0,20/0,04*	0,81/0,65*	-0,55/ -0,30*
Температура [Temperature], °C	0,36/0,13*	0,07	0,04	-0,18/ -0,03*	-0,61/ -0,37*	0,29/0,08*
pH _{водн.} [Water pH]	0,36/0,13*	0,43/0,18*	0,54/0,29*	0,40/0,16*	0,60/0,36*	-0,11
Содержание частиц < 0,01 мм [Particle content < 0.01 mm]	-0,27/ -0,07*	-0,44/ -0,19*	-0,59/ -0,35*	-0,16/ -0,02*	0,03	0,18/0,03
Содержание гумуса [Humus content], %	-0,12	-0,05	-0,23/ -0,05*	0,36/-0,13*	0,25/0,06	-0,26/-0,07
N	-0,09	-0,16	-0,12	0,37/0,14*	-0,01	0,08
Ca ²⁺	-0,01	-0,13	-0,21/0,04*	0,33/0,10*	0,09	-0,06
Mg ²⁺	0,16/0,02*	0,23/0,05*	0,35/0,12*	0,79/0,62*	0,30/0,09*	-0,38/ -0,14*
Na ⁺	0,89/0,79*	0,67/0,44*	0,63/0,39*	0,37/0,14*	-0,17/ -0,03*	-0,23/0,05*
P ₂ O ₅	0,49/0,24*	0,49/0,24*	0,43/0,18*	0,41/0,17*	-0,15/-0,02	0,16/0,02*
K ₂ O	0,03	-0,03	-0,16/ -0,02*	0,10/0,01*	-0,03	0,67/0,44*

Примечание. * – значения коэффициентов детерминации, без звездочки – коэффициентов корреляции; для вычисления корреляции использованы показатели общего азота, катионов Ca²⁺, Mg²⁺ и Na⁺, подвижного P₂O₅, обменного K₂O, взятые из монографии Э.О. Макушкина и соавт. [13].

[Note. * determines values, without * are values of correlation; to calculate correlation, values of total nitrogen values, cations Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺, mobile P₂O₅, and exchange K₂O were used, taken from the monograph of EO Makushkin and coauthors [13]].

Заключение

В изученных почвах выявлена высокая биологическая активность по содержанию каталазы, очень сильная – по содержанию протеазы и слабая по содержанию уреазы. Установлена полная прямая корреляция ($r = +1,0$) меж-

ду рядами значений протеазы и полевой влажности почв. Выявлена сильная прямая корреляция ($r = +0,84$) между рядами значения полевой влажности почв и содержания NH_4 при выше средней степени коэффициента детерминации ($R^2 = 0,65$). Это говорит о высокой степени трансформации в почвах азотсодержащего органического вещества до аммиака. У почв центральной поймы биологическая активность выше, чем у почв островов ($P_U < 0,05$) по причине лучших показателей по содержанию гумуса, физической глины, увлажнения и поступления отходов жизнедеятельности крупнорогатого скота при неконтролируемом пастбищном использовании.

Литература

1. Тулохонов А.К. О геоморфологической индикации режима новейших тектонических движений // Доклады Академии наук. 2008. Т. 423, № 4. С. 511–515.
2. Трофимова И.Е. Структура мезоклиматов Усть-Селенгинской котловины // География и природные ресурсы. 2005. № 2. С. 46–52.
3. Макушкин Э.О. Сравнительная оценка гумусного состояния почв пастбищ и фоновых участков дельты р. Селенга // Агрохимия. 2015. № 12. С. 28–36.
4. Доклад Гидрометцентра Читинского ЦГМС России, Забайкальского УГМС России / сост. Л.И. Бенкова: [сайт]. URL: <http://method.hydromet.ru/cvent/dec05/doklad/> (дата обращения: 05.12.2005).
5. Последствия изменения климата: прогноз для регионов Сибири [сайт]. URL: [http://ineca.ru/Environmental consulting /](http://ineca.ru/Environmental consulting/) (дата обращения: 28.06.2016).
6. Marinari S., Carbone S., Vittori Antisari L., Vianello G., Grego S. Microbial activity and functional diversity in psamment soils forested coastal dune-swale system // Geoderma. 2012. № 173–174. PP. 249–257.
7. Kobierski M., Piotrowska A. Profile distribution of heavy metals and enzymatic activity in fluvisols of Vistula river valley // Fresenius Environmental Bulletin. Special edition SI. 2010. Vol. 19, № 2A. PP. 303–311.
8. Freimann R., Bürgmann H., Findlay S.E.G., Robinson C.T. Hydrologic linkages drive spatial structuring of bacterial assemblages and functioning in alpine floodplains // Frontiers in Microbiology. 03 November 2015. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01221>.
9. Zheng L., Zhang M., Xiao R., Chen J., Yu F. Impact of salinity and Pb on enzyme activities of a saline soil from the Yellow River delta: A microcosm study // Physics and Chemistry of the Earth. 2017. № 97. PP. 77–87.
10. Wang R., Sun J., Lu Z.H. Effect of soil ameliorants on the biochemical properties of coastal saline-alkali soil in the Yellow River Delta // Shengtai Xuebao / Acta Ecologica Sinica. 2017. Vol. 37, № 2. PP. 425–431.
11. Luo X., Chen L., Zheng H., Wang Z., Xing B. Biochar addition reduced net N mineralization of a coastal wetland soil in the Yellow River Delta, China // Geoderma. 2016. № 282. PP. 120–128.
12. Cao D., Shi F., Koike T., Lu Z., Sun J. Halophyte plant communities affecting enzyme activity and microbes in saline soils of the Yellow River Delta in China // Clean-Soil, Air, Water. Vol. 42, №10. PP. 1433–1440.
13. Макушкин Э.О., Сорокин Н.Д., Корсунов В.М. Состояние микробных сообществ почв в различных условиях их поемности в дельте Селенги. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 160 с.

14. Макушкин Э.О., Сорокин Н.Д. Ферментативная активность почв островов правобережья дельты Селенги (Байкальский регион) // Сибирский экологический журнал. 2013. № 5. С. 703–715.
15. Baldanov N.D., Korsunova Ts.D., Chimitdorzieva G.D., Milheev E.U. Destruction of organic substance and biological activity of alluvial plain soils in Selenga river delta // Science for Watershed Conservation: Multidisciplinary Approaches for Natural Resource Management: Abstracts of the International Conference. Ulan-Ude (Russia) – Ulan Bator (Mongolia). Sept. 1-8. Ulan-Ude : Publishing House of the Buryat Scientific Center, SB RAS. 2004. Vol. 2. PP. 104–105.
16. Korsunova Ts.D., Baldanov N.D. About ureasa activity in valley soils of Selenga river delta // Science for Watershed Conservation: Multidisciplinary Approaches for Natural Resource Management: Abstracts of the International Conference. Ulan-Ude (Russia) – Ulan Bator (Mongolia). Sept. 1-8. Ulan-Ude : Publishing House of the Buryat Scientific Center, SB RAS. 2004. Vol. 2. PP. 113–114.
17. Великая эпоха. Строительство ГЭС в Монголии грозит исчезновением Байкала [сайт, дата обновления: 24.05.2016]. URL: epochtimes.ru/stroitelstvo-ges-v (дата обращения: 05.11.2016).
18. Sakho I., Dupont J.P., Cisse M.T., Sanae El. Janyani, Soda L. Hydrological responses to rainfall variability and dam construction: a case study of the upper Senegal River basin // Environmental Earth Sciences. 2017. № 76. P. 253. doi:10.1007/s12665-017-6570-481.
19. Розанов Б.Г. Морфология почв : учебник для высшей школы. М. : Академический проект, 2004. 432 с.
20. Полевой определитель почв России / ред. К.Т. Острикова (зав. ред.-изд. группой). М. : Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
21. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов и др. М. : Колос, 1977. 223 с.
22. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов: основа для международной классификации и корреляции почв / сост. и науч. ред. В.О. Таргульян, М.И. Герасимова; пер. М.И. Герасимовой. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2007. 278 с.
23. Макушкин Э.О. Диагностика почв верховьев дельты р. Селенги // Вестник КрасГАУ. 2012. Вып. 10. С. 34–38.
24. Макушкин Э.О. Диагностика слоисто-аллювиальных гумусовых почв первичного ствола почвообразования дельты р. Селенги // Вестник КрасГАУ. 2014. Вып. 9. С. 58–62.
25. Определитель растений Бурятии / сост. О.А. Аненхонов, Т.Д. Пыхалова, К.И. Осипов, И.Р. Экулич, Н.К. Бадмаева, Б.Б. Намзалов, Л.В. Кривобоков, М.С. Мункуева, А.В. Суткин, Д.Б. Тубшинова, Д.Я. Тубанова. Улан-Удэ : Изд-во ИОЭБ СО РАН, 2001. 672 с.
26. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 2003. 204 с.
27. Агрохимические методы исследования почв / ред. А.В. Соколов. М. : Наука, 1975. 656 с.
28. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л. : Медицина, 1973. 141 с.
29. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
30. Chevallier T., Cournac L., Hamdi S., Gallali T., Bernoux M. Temperature dependence of CO₂ emissions rates and isotopic signature from a calcareous soil // Journal of Arid Environments. 2016. № 135. PP. 132–139.
31. Bodmer P., Freimann R., von Fumetti S., Robinson C.T., Doering M. Spatio-temporal relationships between habitat types and microbial function of an upland floodplain // Aquatic Sciences. 2016. Vol. 78, № 2. PP. 241–254.

32. Сарула, Чэнь Х., Хоу С., Убугунов Л.Л., Вишнякова О.В., У С., Рен В., Дин Ю. Запасы углерода в типичной степи при различном управлении выпасом // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1365–1374.
33. Копчик Г.Н., Кадулин М.С., Захарова А.И. Влияние техногенного загрязнения на эмиссию диоксида углерода почвами в Кольской субарктике // Журнал общей биологии. 2015. Т. 76, № 1. С. 48–62.

Поступила в редакцию 07.09.2017 г.; повторно 12.01.2018 г.; 15.04.2018 г.; принята 17.05.2018 г.; опубликована 15.06.2018 г.

Макушкин Эдуард Очирович – доцент, канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории биохимии почв Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6).
E-mail: makushkin@bk.ru

For citation: Makushkin EO. A comparative assessment of the biological activity of soils in the Selenga river upper delta according to the content of enzymes. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;42:6-23. doi: 10.17223/19988591/42/1 In Russian, English Summary

Eduard O. Makushkin

Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation

A comparative assessment of the biological activity of soils in the Selenga river upper delta according to the content of enzymes

Soils of the Selenga river upper delta main tributary of the freshwater Lake Baikal experience arid conditions, as well as the influence of uncontrolled pasture use by cattle in the areas of the central floodplain (hereinafter “floodplain”). The aim of the study was to compare the biological activity (hereinafter “activity”) of soils of hard-to-reach islands and floodplains according to the degree of enrichment with catalase, protease and urease.

In August 2005, soil samples from the upper horizons of 8 soil profiles were selected for the study in the same period. Three soil profiles (prof. 1-05-3-05) were laid on two islands upstream from the village of Murzino, Kabansky district of the Republic of Buryatia. Two were on the island “Residence”, opposite Murzino, on the other side of the river (prof. 4-05 and prof. 5-05). In the floodplain near Murzino 3 incisions were laid. Profile 6-05 was on the edge of the Selenga river bed, regulated by a dam, and now a small pond. Profile 7-05 was 200 m from an artificial dam east of Murzino. Profile 8-05 was on the elevated terrain, about 500 m from the river bed. The geographic coordinates of biotopes are given in the paper. The enzymatic activity of soils was investigated according to the standard methods described in the practical guide of KSh Kazeeva et al. (2003). Other methods of soil investigation were used from the classic manual “Agrochemical Methods of Soil Research” (1975).

The most pronounced activity of soils is the degree of enrichment with protease, a very high degree. The activity was high according to the content of catalase. According to urease, the activity was weak in all soils (See Table 1). In arid conditions in biotopes with an increasing terrain, the activation of soil enzymes was influenced by the arrival of fresh plant litter, and in the floodplain, in addition, the supply of cow's waste products from the livelihoods. The soils of the lowlands of the floodplain are more

moistened than the soil of the islands, they have better parameters for the content of humus and physical clay (See Table 2), therefore, the activity of enzymes is higher than that of island soils (differences are statistically significant, $P_0 < 0.05$). Correlation analysis was performed comparing the series of values of the enzyme content, water-soluble ammonia, nitrates in the day horizons of delta soils with a series of values of physical and agrochemical parameters (See Table 3). A complete direct correlation was found between the soil moisture content and the protease content ($r = +1.00$). With these parameters and the contents of water-soluble ammonia, there is a strong correlation ($r = +0.81$). With the same soil indices and catalase ($r = +0.18$), urease ($r = +0.20$) there is a weak degree of correlation. The inverse of the average degree of correlation is also with the moisture values and the series of values of the nitrate content ($r = -0.55$). Positive correlation between pH values of water and values of all enzymes: with catalase ($r = +0.43$), with protease ($r = +0.54$), and with urease ($r = +0.4$). Positive correlation is determined between the values of cations Mg^{2+} , Na^{2+} and mobile phosphorus (P_2O_5), on the one hand, and the contents of enzymes and CO_2 emission values, on the other hand (See Table 3). In general, the biological activity of soils in the floodplain is higher than that of soils of less humidified islands.

The paper contains 1 Figure, 3 Tables and 33 References.

Key words: fluvisols; catalase; protease; urease; aridity; pasture use.

Funding: This work was supported by the Project 5.1.1 "Fundamental Basics of Biological Resource Management" of the specialized departments of the Russian Academy of Sciences.

References

1. Tulokhonov AK. O geomorfologicheskoy indikatsii rezhima noveyshikh tektonicheskikh dvizheniy [On the geomorphological indication of the regime of the newest tectonic movements]. *Doklady Akademii Nauk*. 2008;423(4):511-515. In Russian
2. Trofimova IE. Struktura mezoklimatov Ust'-Selenginskoy kotloviny [Structure of mesoclimates of the Ust-Selenga depression]. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2005;2:46-52. In Russian
3. Makushkin EO. The comparative estimation of the humus state of soils on pascual and base-line areals of Selenga river delta. *Agrokimiya*. 2015;12:28-36. In Russian
4. *Doklad Hidromettsentra Chitinskogo TsGMS Rossii, Zabaykal'skogo UGMS Rossii* [Report of Chita Hydrometeorological Center, Central HMC of Russia, Trans-Baikal HMC of Russia]. Benkova LI, editor. [Electronic resource]. Available at: <http://method.hydromet.ru/cvent/dec05/doklad/> (access 05.12.2005). In Russian
5. *Posledstviya izmeneniya klimata: prognoz dlya regionov Sibiri* [Consequences of climate change: the forecast for regions of Siberia [Electronic resource]. Available at: http://ineca.ru/Environmental_consulting/ [(access 28.06.2016)]. In Russian
6. Marinari S, Carbone S, Vittori Antisari L, Grego S, Vianello G. Microbial activity and functional diversity in psamment soils forested coastal dune-swale system. *Geoderma*. 2012;173-174:249-257. doi: [10.1016/j.geoderma.2011.12.023](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.12.023)
7. Kobierski M, Piotrowska A. Profile distribution of heavy metals and enzymatic activity in fluvisols of Vistula river valley. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2010;19(2A):303-311.
8. Freimann R, Bürgmann H, Findlay SEG, Robinson CT. Hydrologic linkages drive spatial structuring of bacterial assemblages and functioning in alpine floodplains. *Frontiers in Microbiology*. 2015;6:1221. doi: [10.3389/fmicb.2015.01221](https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01221)
9. Zheng L, Zhang M, Xiao R, Chen J, Yu F. Impact of salinity and Pb on enzyme activities of a saline soil from the Yellow River delta: A microcosm study. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2017;97:77-87. doi: [10.1016/j.pce.2016.11.001](https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.11.001)

10. Wang R, Sun J, Lu ZH. Effect of soil ameliorants on the biochemical properties of coastal saline-alkali soil in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*. 2017;37(2):425-431. doi: [10.5846/stxb201508031633](https://doi.org/10.5846/stxb201508031633) In Chinese, English Summary
11. Luo X, Chen L, Zheng H, Chang J, Wang H, Wang Z, Xing B. Biochar addition reduced net N mineralization of a coastal wetland soil in the Yellow River Delta, China. *Geoderma*. 2016;282:120-128. doi: [10.1016/j.geoderma.2016.07.015](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.015)
12. Cao D, Shi F, Koike T, Lu Z, Sun J. Halophyte plant communities affecting enzyme activity and microbes in saline soils of the Yellow River Delta in China. *Clean - Soil, Air, Water*. 2014;42(10):1433-1440. doi: [10.1002/clen.201300007](https://doi.org/10.1002/clen.201300007)
13. Makushkin EO, Sorokin ND, Korsunov VM. Sostoyanie mikrobykh soobshestv pochv v razlichnykh usloviyakh ikh poemnosti v del'te Selengi [The state of microbial communities of soils in different conditions of their floodplain in the Selenga river delta]. Ulan-Ude: BNTs SO RAN Publ.; 2007. 160 p. In Russian
14. Makushkin EO, Sorokin ND. Enzymatic activity of soils from islands located near the right bank of the delta of the Selenga river (Baikal Region). *Contemporary Problems of Ecology*. 2013;6(5):532-541. doi: [10.1134/S1995425513050090](https://doi.org/10.1134/S1995425513050090)
15. Baldanov ND, Korsunova TsD, Chimitdorzieva GD, Milheev EU. Destruction of organic substance and biological activity of alluvial plain soils in the Selenga river delta. In: *Science for Watershed Conservation: Multidisciplinary Approaches for Natural Resource Management*. Int. Conf. Abstracts (Ulan-Ude (Russia)-Ulan Bator (Mongolia), 1-8 September, 2004). Ulan-Ude: Publishing House of the Buryat Scientific Center, SB RAS; 2004. Vol. 2. pp. 104-105. In Russian
16. Korsunova TsD, Baldanov ND. About ureasa activity in valley soils of the Selenga river delta. In: *Science for Watershed Conservation: Multidisciplinary Approaches for Natural Resource Management*. Int. Conf. Abstracts (Ulan-Ude (Russia)-Ulan Bator (Mongolia), 1-8 September 2004). Ulan-Ude: Publishing House of the Buryat Scientific Center, SB RAS; 2004. Vol. 2. pp. 113-114. In Russian
17. *Velikaya epokha. Stroitel'stvo GES v Mongolii grozit ischeznoveniem Baykala* [The Great Era. Construction of a hydroelectric power station in Mongolia threatens the disappearance of Lake Baikal]. [Electronic resource]. Available at: epochtimes.ru/stroitelstvo-ges-v (access 05.11.2016). In Russian
18. Sakho I, Dupont JP, Cisse MT, Janyani SEJ, Loum S. Hydrological responses to rainfall variability and dam construction: A case study of the upper Senegal River basin. *Environmental Earth Sciences*. 2017;76:253. doi: [10.1007/s12665-017-6570-481](https://doi.org/10.1007/s12665-017-6570-481)
19. Rozanov BG. Morfologiya pochv: Uchebnik dlya vysshey shkoly [Morphology of Soils: A Handbook for High Schools]. Moscow: Akademicheskii proekt Publ.; 2004. 432 p. In Russian
20. *Polevoy opredelitel' pochv Rossii* [Field Determinant of Soils in Russia]. Ostriukova KT, editor. Moscow: Pochvennyy institut im. VV Dokuchaeva; 2008. 182 p. In Russian
21. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and Diagnostics of Soils in the USSR]. Egorov VV, Fridland VM, Ivanov EN and Rozov NN, editors. Moscow: Kolos Publ.; 1977. 223 p. In Russian
22. *World Reference Base for Soil Resources 2006: A Framework for International Classification, Correlation and Communication (World Soil Resources Reports)*. Gerasimova MI translator; Targul'yan VO and Gerasimova MI, editors. Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2007. 142 p.
23. Makushkin EO. Diagnostika pochv verkhov'ev del'ty r. Selengi [Soils diagnostics in the Selenga River Delta upper reaches]. *The Bulletin of KrasGAU*. 2012;10:34-38. In Russian
24. Makushkin EO. Diagnostika sloisto-allyuvial'nykh gumusovykh pochv pervichnogo stvola pochvoobrazovaniya del'ty r. Selengi [The diagnostics of the layered-alluvial humic soils of the soil formation primary trunk in the Selenga river delta]. *The Bulletin of KrasGAU*. 2014;9:58-62. In Russian

25. *Opredelitel' rasteniy Buryatii* [Key for plants of Buryatia]. Anenkhonov OA, Pykhalova TD, Osipov KI, Sekulich IR, Badmaeva NK, Namzalov BB, Krivobokov LV, Munkueva MS, Sutkin AV, Tubshinova DB and Tubanova DYa. Ulan-Ude: IOEB SO RAN Publ.; 2001. 672 p. In Russian
26. Kazeev KSh, Kolesnikov SI, Val'kov VF. Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Biological diagnostics and indication of soils: methodology and methods of research]. Rostov n/D: RGU Publ.; 2003. 204 p. In Russian
27. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical Methods of Soil Research]. Sokolov AV, editor. Moscow: Nauka Publ.; 1975. 656 p. In Russian
28. Gubler EV, Genkin AA. Primenenie neparametricheskikh kriteriev statistiki v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh [Application of non-parametric criteria of statistics in biomedical research]. Leningrad: Meditsina Publ.; 1973. 141 p.
29. Orlov DS, Biryukova ON, Rozanova MS. Revised system of the humus status parameters of soils and their genetic horizons. *Eurasian Soil Science*. 2004;37(8):798-805. In Russian
30. Chevallier T, Cournac L, Hamdi S, Gallali T, Bernoux M. Temperature dependence of CO₂ emissions rates and isotopic signature from a calcareous soil. *Journal of Arid Environments*. 2016;135:132-139.
31. Bodmer P, Freimann R, von Fumetti S, Robinson CT, Doering M. Spatio-temporal relationships between habitat types and microbial function of an upland floodplain. *Aquatic Sciences*. 2016;78(2):241-254. doi: [10.1007/s00027-015-0420-9](https://doi.org/10.1007/s00027-015-0420-9)
32. Sarula CH, Hou X, Wu X, Ren W, Ubugunov L, Vishnyakova OV. Carbon storage under different grazing management in the typical steppe. *Eurasian Soil Science*. 2014;47(11):1152-1160. doi: [10.1134/S1064229314110106](https://doi.org/10.1134/S1064229314110106)
33. Koptsik GN, Kadulin MS, Zakharova AI. Impact of industrial pollution on emission of carbon dioxide by soils in the Kola Subarctic Region. *Zhurnal Obshchey Biologii*. 2015;76(1):48-62. In Russian, English Summary

Received 07 September 2017; Revised 12 January 2018 and 15 April 2018;

Accepted 17 May 2018; Published 15 June 2018

Author info:

Makushkin Eduard O, Assoc. Prof., Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Soil Biochemistry, Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6 Sakhyanova Str., Ulan-Ude 670047, Russian Federation.

E-mail: makushkin@bk.ru