

ПРОЦЕССЫ ЭНЗИМОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АЗОТА В МЕЛИОРИРУЕМЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Л.И. ИНИШЕВА, Е.В. ПОРОХИНА

Ключевые слова: энзимы, активность, Томская область, торфяной профиль, валовой азот, подвижный азот, денитрификация.

Keywords: enzymes, activity, Tomsk region, peat profile, gross nitrogen, mobile nitrogen, denitrification.

Аннотация. В торфяных мелиорируемых почвах определены экстремальные значения активности энзимов: уреазы — от 0,03 до 0,64 мг $\text{NH}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$, нитрат- и нитритредуктазы, соответственно от 0,18 до 1,95 мг восстановленного $\text{NO}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$, от 0,61 до 1,03 мг восстановленного $\text{NO}_2^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$. Установлено, что образование нитратов в торфяных почвах происходит на границе раздела двух фаз: почва — поровый раствор. При осушении в почвах активизируются процессы энзимологической трансформации азота, и происходит вынос их подвижных соединений с дренажным стоком.

Abstract. In reclaimed peat soils, extreme values of the activity of enzymes were determined: urease — from 0,03 to 0,64 mg $\text{NH}_3^-/(\text{g}\cdot 24 \text{ h})$, nitrate- and nitritereductase, respectively, from 0,18 to 1,95 mg of reduced $\text{NO}_3^-/(\text{g}\cdot 24 \text{ h})$ and from 0,61 to 1,03 mg of reduced $\text{NO}_2^-/(\text{g}\cdot 24 \text{ h})$. It has been established that the formation of nitrates in peat soils occurs at the interface between two phases: soil — pore solution. During drainage, the processes of enzymological transformation of nitrogen are activated in soils, and their mobile compounds are removed with drainage runoff.

Почвенный покров является биоэнергетической и биогеохимической системой, обладающей способностью саморазвития, самоуправления и создания режима, обеспечивающего существование в нем биоты, что должно учитываться при проведении мелиорации. Установлено, что при осуществлении эффективных приемов химизации и мелиорации, обеспечивающих получение наиболее высоких урожаев сельскохозяйственных растений, в почве происходит активизация биологических процессов, выражающаяся в нарастании численности микроорганизмов, усилении активности почвенных ферментов, интенсивности дыхания и других показателей. Известно, что активность ферментов является устойчивым и чувствительным показателем биологической активности почв [1–3]. Исследования энзимологической активности более широко представлены по минеральным почвам [4]. Публикации по энзимологической активности торфяных почв практически единичны [5–7].

Цель работы: исследование биохимического состояния мелиорируемых торфяных почв и выявление изменений, происходящих в них под влиянием осушения на примере процесса трансформации азотсодержащих веществ.

Важность содержания подвижных соединений азота в почвах для урожая сельскохозяйственных культур — часто обсуждаемая тема [8–11]. Вопрос о превращениях азотных соединений в почве до сих пор остается до конца не выясненным. В большей степени изучена микробиологическая сторона превращений азота. Известно, что почвенные денитрификаторы восстанавливают нитраты до газообразных форм азота и до аммиака. Одновременно азотсодержащие соединения почвы, прежде чем перейти в доступные растениям вещества, претерпевают и сложные биохимические превращения. Зная условия их протекания, можно

контролировать активность биологических и энзимологических процессов трансформации азота в почвах. Особенно это важно в условиях активного антропогенного воздействия, к которому относится мелиорация. В Западной Сибири для сельскохозяйственного освоения перспективна зона эвтрофных и мезотрофных болот, среди которых наиболее ценными в сельскохозяйственном отношении являются пойменные болота, площадь которых в основной сельскохозяйственной зоне Томской области составляет 740 тыс. га.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили на объекте «Верхний лут» Зырянского района Томской области, площадью 472 га, расположенном на торфяных почвах низкой поймы р. Кии, осушаемых закрытым дренажем с вариантами 0,8×25 м и 1,3×25 м. Мощность торфяной залежи 0,8...3 м. Современные аллювиальные отложения представлены суглинками и глинами. Торфяные почвы сложены торфом осоковым и древесно-осоковым торфом. Исследованиями охвачены влажный и засушливый годы (ГТК по Селянину соответственно 1,4 и 0,96).

На протяжении вегетационных периодов велись наблюдения за дренажным стоком на оборудованных гидрометрических пунктах [12]. Фракционный состав азота в торфяных почвах исследовали по Э.И. Шконде и И.Е. Королевой [13]. Уреазу определяли методом А.Ш. Галстяна в модификации А.И. Чундеровой, нитрат- и нитритредуктазную активность — по методу А.Ш. Галстяна и Л.В. Маркосяна, модифицированному Л.А. Мурдам. Все методики изложены в монографии Ф.Х. Хазиева [14]. Болотную воду на анализ отбирали в колодцах на болоте. Макрокомпоненты в дренажных водах анализировались по общепринятым методикам [15].

Обсуждение. В торфяных почвах УГВ весной поднимается близко к поверхности и в течение вегетационного периода постепенно снижается до 1...1,5 м. Порозность аэрации за вегетационный период в среднем изменяется на варианте дренажа 0,8×25 м от 11,1 % в мае и до 24 % в сентябре, на варианте 1,3×25 м — от 24 % до 41 %. Важно отметить, что в торфяных почвах даже при полном затоплении одновременно поддерживаются анаэробные и аэробные условия и связано это с агрегатным строением торфяного профиля. Так, согласно И.И. Лиштвану и Н.Т. Королю [16], основу торфа составляют высокомолекулярные продукты разложения и растительные остатки высокополимеров целлюлозной природы. Остатки растений-торфообразователей формируют структуры переплетения, а продукты разложения создают надмолекулярные комплексы, заполняющие ячейки структуры переплетения. Эти соединения объединены в агрегаты, при этом выделяются внутриагрегатные и межагрегатные структуры

разной компактности. Основные закономерности формирования таких структур зависят от ботанического состава торфа, степени разложения и химического состава среды. Таким образом, структура торфа в торфяном профиле определяется соотношением продуктов распада и неразложившейся части, а также характером внутриагрегатных и межагрегатных взаимодействий. Эти свойства способствуют формированию порозности аэрации и контрастных анаэробно-аэробных условий в торфяном профиле.

Осушение торфяных почв изменяет окислительно-восстановительные условия почв в сторону увеличения их аэробности. Но и зону окисления в осушаемых торфяных почвах следует рассматривать как область сочетания анаэробно-аэробных условий. В торфяных почвах в процессе осушения резко окислительные условия (400...600 мВ) создаются в верхнем 0...40 см (вариант дренажа 0,8×25 м) и 0...60 см (вариант дренажа 1,3×25 м), глубже в зоне непосредственного контакта с грунтовыми водами ОВП принимает отрицательные значения. В результате в профиле торфяных почв в слое с аэробными условиями могут формироваться микрзоны с анаэробными зонами и наоборот. Это определяет динамику подвижных соединений азота на протяжении вегетационного периода. В целом, торфяные почвы характеризуются высоким содержанием валового азота (табл. 1).

В торфяных почвах основная часть азота (98 %) сосредоточена в недоступных для растений соединениях. Подвижный азот составляет от 0,9 до 3,1 % от валового азота и гидролизуемый азот от 11,2 до 24,4 %. Доступные для растений соединения азота преобладают в слое 0...60 см.

Начальный процесс мобилизации органического азота начинается с действия гидролитических ферментов типа протеаз и нуклеаз. В исследуемых почвах содержание протеаз в торфяном профиле изменяется в пределах 0,04...22 мг тирозина/(г·18 ч). В результате происходит образование более простых азотсодержащих органических соединений, которые с помощью дезамирирующих гидролитических ферментов преобразуются до аммиака (стадия аммонификации). Из гидролитических дезаминаз наиболее изучена уреазы. Рассмотрим динамику активности уреазы в мелиорируемых торфяных почвах во влажный (ГТК 1,4) и сухой (ГТК 0,96) годы на примере варианта дренажа 0,8×25 м (табл. 2). Во влажный год активность уреазы

Таблица 1

Фракционный состав азота торфяных почв

Глубина, см	Валовой	Легкодоступный	Подвижный	Легкодоступный	Подвижный
	мг/100 г почвы			% от валового	
Дренаж 1,25×25 м					
0...20	1970	394,8	62,2	20,0	3,1
20...40	1900	464,8	58,9	24,4	3,1
40...60	1780	156,8	48,0	18,8	2,6
60...80	1770	201,6	29,9	11,3	1,3
80...100	1840	207,2	37,2	11,2	2,0
Целинный участок					
0...20	1100	126,0	23,9	11,4	2,1
20...40	1650	238,0	18,3	14,4	1,1
40...60	1340	172,8	12,3	12,8	0,9
60...80	1300	145,6	21,7	11,2	1,6
80...100	1220	296,8	22,3	16,1	1,8

выше по сравнению с сухим годом. В июле как наиболее теплом месяце высокие значения активности уреазы отмечены в слое 0...40 см, а во влажный год ее активность достигает глубины 60 см. В августе и сентябре такая же закономерность активности уреазы сохраняется в сухой год, но во влажный год активность наоборот увеличивается вниз по торфяному профилю.

Сезонная динамика уреазы в торфяных почвах, как и других гидролитических энзимов, отличается от выделенных по климатическим условиям типов энзимологической активности в минеральных почвах [17]. Согласно данному делению, в зоне континентального климата в сезонной динамике уреазной активности почв выделяется летний максимум при пониженной активности весной и осенью. В исследуемых торфяных почвах отмечается иная закономерность, что, по всей вероятности, прежде всего, объясняется высоким содержанием в данных почвах органических веществ, и их гидрологических условий. Весной в торфяных почвах в результате подъема УГВ и выхода полых вод на пойму отмечается переувлажнение. Но ограничивающим фактором избыточная влага в данный период не является.

В сухие и близкие к сухим периодам вегетационные периоды градиент температуры корнеобитаемого слоя очень высок. Интенсивность испарения в отдельные месяцы также вызывает подсушивание поверхностного слоя. Все это определяет проявление активности гидролитических энзимов в нижних горизонтах. И только осенью, при благоприятном сочетании тепла и влаги (невысокие значения температурного градиента и увеличение влажности почв за счет осенних атмосферных осадков) уреазная активность в торфяном профиле вновь возрастает.

Далее в процессе мобилизации органического азота, аммонийный азот окисляется до нитратов. Процесс восстановления нитратов составляет только часть общего цикла метаболизма азота в почве. В услови-

Таблица 2
Динамика уреазной активности в торфяной почве, мг NH₃⁻/(г·24 ч)

Глубина, см	ГТК 1,4			ГТК 0,96				
	Июль	Август	Сентябрь	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
0...20	0,53	Нет	Нет	0,26	0,33	0,26	0,35	0,30
20...40	0,61	0,22	0,52	0,18	0,24	0,18	0,28	0,18
40...60	0,40	0,43	0,22	0,10	0,22	0,08	0,18	0,12
60...80	0,11	0,64	0,41	0,05	0,22	—	0,05	0,03
80...100	0,21	0,60	0,33	Мерзлота	0,10	—	0,03	Нет

Примечание. ГТК — гидротермический коэффициент.

Таблица 3

Активность нитрат- и нитритредуктаз в торфяных почвах

Глубина, см	ГТК	Нитратредуктаза			Нитритредуктаза		
		мг восстановленного NO ₃ ⁻ /(г·24 ч)			мг восстановленного NO ₂ ⁻ /(г·24 ч)		
		Пределы изменения	Среднее за май–сентябрь	V, %	Пределы изменения	Среднее за май–сентябрь	V, %
0...20	1,40	1,25...3,19	1,95 ± 0,37	34,0	0,78...1,36	1,03 ± 0,05	19,6
	0,96	0,10...1,75	0,57 ± 0,12	120,0	0,05...2,08	0,92 ± 0,11	79,8
20...40	1,40	0,93...1,50	1,11 ± 0,11	16,9	0,68...1,02	0,82 ± 0,12	15,5
	0,96	0,05...0,40	0,25 ± 0,09	48,0	0,05...1,75	0,77 ± 0,10	87,5
40...60	1,40	1,88...1,63	1,46 ± 0,12	8,1	0,45...1,29	0,84 ± 0,21	36,6
	0,96	0,00...3,13	0,69 ± 0,12	177,0	0,05...2,03	0,68 ± 0,16	119,5
60...80	1,40	1,03...2,47	1,56 ± 0,24	2,3	0,89...1,15	1,04 ± 0,02	8,6
	0,96	0,00...0,63	0,18 ± 0,06	145,0	0,05...2,28	0,95 ± 0,11	88,8
80...100	1,40	0,73...1,38	0,94 ± 0,09	22,3	0,38...0,75	0,61 ± 0,02	19,9
	0,96	0,30...1,40	0,68 ± 0,08	74,0	0,00...1,83	1,10 ± 0,08	66,9

Примечание. V – коэффициент вариации; «±» – доверительный интервал.

я анаэробнозиса в дальнейшем происходит его восстановление до аммиака (ассимиляторная денитрификация) или газообразных окислов и молекулярного азота (диссимиляторная денитрификация). Процессы восстановления нитратного азота в почве до аммонийного катализируют ферменты нитрат- и нитритредуктазы. Нитратредуктаза, представляющая собой металлоэнзим, содержит Мо в качестве активатора, переносит атом водорода к кислороду нитратов. В результате нитраты восстанавливаются до нитритов. Нитритредуктазы, активность которых стимулируется ионами Fe³⁺ и Cu²⁺ [18] осуществляют восстановление нитратов через гидроксилламин в гидрат окиси аммония и до газообразных окислов азота.

Рассмотрим динамику нитрат- и нитритредуктаз в торфяных почвах по варианту дренажа 0,8×25 м, с помощью которых в анаэробных условиях денитрифицирующие микроорганизмы используют кислород нитратов в качестве акцептора водорода в процессе дыхания (табл. 3). Активность нитратредуктазы изменяется в широких пределах от нуля до 3,19 мг восстановленного NO₃⁻/(г·24 ч), нитритредуктазы – от нуля до 2,28 мг восстановленного NO₂⁻/(г·24 ч). Согласно средним значениям за вегетационный период нитратредуктаза во влажный год колеблется в пределах 1,11...1,95 мг восстановленного NO₃⁻/(г·24 ч), в сухой год в пределах 0,18...0,69 мг восстановленного NO₃⁻/(г·24 ч).

Во влажный год средние значения нитритредуктазы за вегетационный период по торфяному профилю изменяются в пределах 0,61...1,04 мг восстановленного NO₂⁻/(г·24 ч), в сухой – в пределах 0,68...0,5 мг восстановленного NO₂⁻/(г·24 ч). Таким образом, активность нитритредуктазы практически одинакова и во влажный и в сухой год с равномерным распределением по профилю торфяной почвы. Следовательно, степень увлажнения и температурные условия вегетацион-

ного периода не являются признаком развития диссимиляционной нитратредукции в торфяных почвах, характеризующихся высокой воздухоносной порозностью. Однако, высокое содержание аммонийного азота в исследуемых почвах и равномерное распределение активности нитрат- и нитритредуктазы по торфяному профилю предполагает активное протекание ассимиляционной нитратредукции, о чем свидетельствуют значения этих энзимов.

Вместе с тем, проведенные нами исследования показывают, что в торфяных почвах минеральный азот представлен, в основном, аммонийными соединениями азота, нитратный азот прак-

тически отсутствует по всему торфяному профилю на вариантах дренажа 0,8×25 м и 1,3×25 м. Нитраты в небольших количествах (1...4 мг/100 г) обнаруживаются только в сентябре на варианте дренажа 0,8×25 м по всему торфяному профилю и на целинном участке в слое 0...40 см (3...8 мг/100 г). В то же время в дренажных водах из торфяных почв отмечается значительно присутствие нитратного азота на протяжении всего вегетационного периода (3,4...16 мг/л) (табл. 4).

Надо полагать, что величина выноса отдельных химических элементов с дренажным стоком зависит от объема стока и вариантов дренажа. Следует заметить, что максимальный из замеренных на участке осушения модуль дренажного стока составляет 0,12 л/(с·га). Летом при выпадении дождей модули дренажного стока достигают значений 0,12...0,19 л/(с·га). При отсутствии дождей модуль стока уменьшается до 0,000026 л/(с·га). В третьей декаде октября дренажный сток заканчивается. Общий слой стока за годы наблюдений составил 24...29 мм, а с учетом стока весеннего снеготаяния – приблизительно 54...94 мм. В результате вынос нитратов с дренажными водами с мелиорируемых торфяных почв в разные годы колеблется от 2,1 до 18 кг/га за вегетационный период, аммонийных соединений – от нуля до 3 кг/га.

Таблица 4

Характеристика химического состава дренажных вод торфяных почв (среднее за 2-летний период), мг/л

Период	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe _{общ}	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	pH
I	0,2	90	14,5	4,3	21,2	Нет	41,7	108,0	1,8	7,0
	0,6	150	30,4	12,7	40,4		201,0	182,0	9,3	
II	0,1	90	18,1	4,1	20,9	0,4	32,1	162,4	1,0	7,1
	0,4	153	30,4	27,0	75,6		126	270,0	3,4	
III	0,5	91	14,7	5,2	43,5	0,3	32,3	186,9	4,9	7,3
	0,7	180	29,2	30,0	115,4		2,5	159,3	266,0	

Примечание. I – весеннее половодье, II – летняя межень, III – осенние дожди; в числителе – средние значения по периоду, в знаменателе – максимальные.

Следовательно, нитраты образуются в почвах в процессе нитрификации, но быстро подвергаются восстановлению (ассимиляционная и диссимиляционная денитрификация), а также вымываются мигрирующим потоком дренажных вод, так как нитраты практически не адсорбируются торфяной почвой, что определяет отсутствие нитратного азота в торфяных почвах. Концентрация аммонийного азота в дренажных водах почти в 10 раз меньше концентрации нитрат-иона, что также подтверждает тот факт, что в торфяных почвах процесс аммонификации преобладает над процессом нитрификации, а образующийся аммонийный азот закрепляется торфяной почвой. Одновременно выносятся и другие компоненты. Отсюда следует, что зона влияния биологической активности распространяется за пределы торфяного профиля, а система взаимодействия усложняется.

В этом случае представляет интерес рассмотреть: в какой системе (естественный торф – поровый раствор – дренажные воды – отжатый торф) происходит процесс энзимологической трансформации азота. Для этого проведен опыт: свежие образцы торфа отбирались со стенок вскрываемых шурфов. Поровые растворы выделяли на центрифуге в течение 5 мин с ускорением 3000g. В свежем образце, поровом растворе и отжатом торфе определяли ряд элементов, в том числе нитратный и аммонийный азот. Одновременно проводили анализ дренажных вод. Подробно опыт описан в [19]. В этой статье мы обсуждаем только полученные результаты. Выявлено, что процесс образования нитратов происходит на границе раздела двух фаз: почва – поровый раствор и нитраты определены в поровом растворе. В этой фазе протекают энзимологические процессы трансформации азота.

Проведенные исследования показывают, что осушение торфяных почв приводит к увеличению биологической активности, что с свою очередь способствует выносу химических элементов дренажными водами в условиях промывного водного режима. В свою очередь, особенность протекания микробиологических и биохимических процессов трансформации азота в мелиорируемых торфяных почвах не позволяет фиксировать в них содержание подвижных форм нитратного азота. Эти же процессы определяют увеличение содержания в поверхностных и подземных водах элементов питания на объектах мелиорации, что предполагает на объектах мелиорации повторное использование дренажного стока в оборотных системах с целью возвращения элементов питания на мелиорируемые почвы.

Заключение

1. Регулирование биологической системы в мелиорируемых торфяных почвах в условиях контрастного окислительно-восстановительного режима имеет большое значение для сезонной перестройки процессов высвобождения питательных элементов и для поддержания гомеостаза этой биосистемы при резком изменении экологических условий, к которым относится мелиоративное воздействие. Причем в условиях мелиоративного воздействия необходимо не только под-

держивать почвенные факторы, в том числе энзимологические процессы трансформации азота, на уровне, благоприятном для сельскохозяйственных культур, но и обеспечить их изменение по оптимальной траектории. Контролирующими же параметрами состояния торфяной почвы могут быть диагностические показатели, реализованные в виде оценочной шкалы. Результаты исследований энзимологической активности имеют большое значение для сельскохозяйственной энзимологии.

2. В торфяных мелиорируемых почвах получены следующие экстремальные значения активности энзимов: уреазы – от 0,03 до 0,64 мг $\text{NH}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$, нитратредуктазы – от 0,18 до 1,95 мг восстановленного $\text{NO}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$, нитритредуктазы от 0,61 до 1,03 мг восстановленного $\text{NO}_2^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$.

3. В условиях мелиоративного воздействия активизируется энзимологическая активность, происходит изменение солевого баланса торфяных почв, и вынос подвижных химических соединений за пределы почвенного профиля в поверхностные и грунтовые воды, что предполагает создание оборотных систем водоснабжения, о чем впервые упомянуто в [20].

Исследование выполнено за счет гранта РФФ № 24-26-00161, <https://rscf.ru/project/24-26-00161/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Купревич В.Ф. Научные труды: в 4 т. Минск: Наука и техника, 1974. Т. 4: Почвенная энзимология. 402 с.
2. Makoi J.H., Ndakidemi P.A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem // *African Journal of Biotechnology*. 2008. Vol. 7, № 3. P. 181–193.
3. Burns R.G., De Forest J.L., Marken J. Soil enzymes in changing environment: current knowledge and future directions // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. Vol. 58, № 2. P. 216–247.
4. Матюгин В.А., Безуглова О.С. Влияние гуминовых препаратов на азотное питание озимой пшеницы и уреазную активность чернозема обыкновенного карбонатного // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2023. № 3. С. 106–116. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-3-106-116.
5. Щербак Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск, 1983. 222 с.
6. Энзиматическая активность торфа естественной и разрабатываемой торфяной залежи / Г.В. Наумова, Н.А. Жмакова, Н.Л. Макарова, Н.Ф. Рассоха, Т.Ф. Овчинникова // *Природопользование*. 2018. № 1. С. 208–216.
7. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф. Сезонная активность почвенной пероксидазы в осушенных болотных сообществах Западной Сибири: системно-экологический анализ // *Почвоведение*. 2023. № 10. С. 1244–1258. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600774>.
8. Кудеяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 3–15.
9. The nitrogen balancing act: tracking the environmental performance of food production / E.L. McLellan, K.G. Cassman, A.J. Eagle, P.B. Woodbury, S. Sela, C. Tonitto // *Bioscience*. 2018. Vol. 68. P. 194–203. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix164>.
10. Башкин В.Н. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения. Сообщение 1. Агрогеохимические подходы // *Агрохимия*. 2022. № 7. С. 82–96. DOI: 10.31857/S0002188122070031.
11. Белоусов Е.Н., Белоусов А.А. Влияние технологий основной обработки почвы на трансформацию азотсодержащих органических соединений в агрочерноземе и активность ферментов азотного цикла. *Агрохимия*. 2023. № 5. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188123020047. EDN: MRZGIQ.

12. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеиздат, 1978. Вып. 6, ч. 1. 384 с.
13. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 63–105.
14. Хазиев Х.Ф. Ферментативная активность почв. М., 1976. 180 с.
15. Унифицированные методы исследования качества вод. М., 1983. Т. 2, ч. 1. 195 с.
16. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 320 с.
17. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 204 с.
18. Ильина Т.К., Негру-Водя В.В. Василенко Е.С. Активность диссимиляционных внеклеточных нитрат- и нитритредуктаз в почве // Почвоведение. 1977. № 9. С. 92–103.
19. Инишева Л.И., Васильева А.Н. Химический и микробиологический состав дренажных вод в осушаемых почвах // Водные ресурсы. 1982. № 1. С. 147–153.
20. Инишева Л.И. Режимы пойменных мелиорируемых почв южно-таежной подзоны Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 1992. 32 с.

REFERENCES

1. Kuprevich V.F. Nauchnye trudy: v 4 t. Minsk: Nauka i tehnika, 1974. T. 4: Pochvennaja jenzimologija. 402 s.
2. Makoi J.H., Ndakidemi P.A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem // African Journal of Biotechnology. 2008. Vol. 7, № 3. P. 181–193.
3. Burns R.G., De Forest J.L., Marken J. Soil enzymes in changing environment: current knowledge and future directions // Soil Biology and Biochemistry. 2013. Vol. 58, № 2. P. 216–247.
4. Matjugin V.A., Bezuglova O.S. Vlijanie guminovykh preparatov na azotnoe pitanie ozimoy pshenicy i ureaznuju aktivnost' chernozema obyknovennogo karbonatnogo // Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki. 2023. № 3. S. 106–116. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-3-106-116.
5. Shherbakova T.A. Fermentativnaja aktivnost' pochv i transformacija organicheskogo veshhestva. Minsk, 1983. 222 s.
6. Jenzimaticeskaja aktivnost' torfa estestvennoj i razrabatyvaemoj torfjanoy zalezhi / G.V. Naumova, N.A. Zhmakova, N.L. Makarova, N.F. Rassoha, T.F. Ovchinnikova // Prirodopol'zovanie. 2018. № 1. S. 208–216.
7. Efremova T.T., Efremov S.P., Avrova A.F. Sezonnaja aktivnost' pochvennoj peroksidazy v osushennykh bolotnykh sosnjakah Zapadnoj

Sibiri: sistemno-jekologicheskij analiz // Pochvovedenie. 2023. № 10. S. 1244–1258. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600774>.

8. Kudejarov V.N. Agrogeohimicheskie cikly ugljeroda i azota v sovremennom zemledelii Rossii // Agrohimiya. 2019. № 12. S. 3–15.

9. The nitrogen balancing act: tracking the environmental performance of food production / E.L. McLellan, K.G. Cassman, A.J. Eagle, P.B. Woodbury, S. Sela, C. Tonitto // Bioscience. 2018. Vol. 68. P. 194–203. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix164>.

10. Bashkin V.N. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija azota: problemy i puti reshenija. Soobshhenie 1. Agrogeohimicheskie podhody // Agrohimiya. 2022. № 7. S. 82–96. DOI: 10.31857/S0002188122070031.

11. Belousov E.N., Belousov A.A. Vlijanie tehnologij osnovnoj obrabotki pochvy na transformaciju azotsoderzhashchih organicheskikh soedinenij v agrochernoze i aktivnost' fermentov azotnogo cikla. Agrohimiya. 2023. № 5. S. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188123020047. EDN: MRZGIQ.

12. Nastavlenija gidrometeorologicheskimi stancijami i postami. L.: Gidrometeorizdat, 1978. Вып. 6, ч. 1. 384 с.

13. Agrokhimicheskiye metody issledovaniya pochv. M.: Nauka, 1975. S.63–105.

14. Haziev H.F. Fermentativnaja aktivnost' pochv. M., 1976. 180 s. T. 2, ch. 1. 195 s.

15. Unificirovannye metody issledovaniya kachestva vod. M., 1983. T. 2, ch. 1. 195 s.

16. Lishtvan I.I., Korol' N.T. Osnovnye svojstva torfa i metody ih opredelenija. Minsk: Nauka i tehnika, 1975. 320 s.

17. Haziev F.H. Sistemno-jekologicheskij analiz fermentativnoj aktivnosti pochv. M.: Nauka, 1982. 204 s.

18. Il'ina T.K., Negrju-Vodje V.V. Vasilenko E.S. Aktivnost' dissimiljacionnykh vnekletochnykh nitrat- i nitritreduktaz v pochve // Pochvovedenie. 1977. № 9. S. 92–103.

19. Inisheva L.I., Vasil'eva A.N. Himicheskiy i mikrobiologicheskij sostav drenaznykh vod v osushaemykh pochvah // Vodnye resursy. 1982. № 1. С. 147–153.

20. Inisheva L.I. Rezhimy pojmnnykh melioriruemnykh pochv juzhno-taеzhnoj podzony Zapadnoj Sibiri: avtoref. dis. ... d-ra s.-h. nauk. SPb., 1992. 32 s.

Инишева Лидия Ивановна, доктор с.-х. наук, профессор, член-корр. РАН, гл. науч. сотрудник, учебно-исследовательская лаборатория, inisheva@mail.ru; **Порохина Екатерина Владимировна**, канд. биол. наук, доцент, кафедра биологии, rogohkatrin@yandex.ru (ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет», г. Томск, Российская Федерация).

УДК 631.6.006.036

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-46-53

МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Е.В. КУЗНЕЦОВ, В.С. МАЦИЙ

Ключевые слова: стандартизация, нормативные акты, проектно-изыскательская документация, оценка качества, анализ риска.

Keywords: standardization, regulations, design and survey documentation, quality assessment, risk analysis

Аннотация. Цель: анализ нормативных документов, регулирующих процессы обеспечения качества в мелиорации. Материалы и методы: Использовались действующие нормативно-правовые акты в строительстве и мелиорации, а также программные статьи по нормативной базе мелиоративного комплекса России. Результаты: Определены основные проблемы в нормировании проектно-изыскательских работ в области мелиорации. Предложена методология комплексного обеспечения безопасности и качества продукции. Выявлены основные направления работ по проведению анализа и менеджмента риска. Выводы: На текущий момент необходима опережающая подготовка национальных стандартов в области мелиорации. Имеет место фактор влияния существующей конкурсной системы по закупке услуг в отрасли, негативно сказывающийся на качестве проектной и изыскательской документации, особенно для строительства сооружений инженерной за-

щиты. Для формирования полноценной и работоспособной нормативно-технической базы необходимо провести идентификацию, анализ и последующую классификацию несоответствий проектной и изыскательской документации.

Abstract. Purpose: analysis of regulatory documents governing quality assurance processes in land reclamation. Materials and methods: The current regulatory legal acts in construction and land reclamation, as well as program articles on the regulatory framework of the reclamation complex of Russia were used. Results: The main problems in the regulation of design and survey work in the field of land reclamation have been identified. A methodology for comprehensive safety and quality assurance of products is proposed. The main directions of work on risk analysis and management were identified. Conclusions: At the moment, advanced preparation of national standards in the field of land reclamation is needed. There is a factor of influence of the existing competitive system for the procurement of services in the industry, which negatively affects the quality of design and survey documentation, especially for the construction of engineering protection structures. Identification, analysis and subsequent classification of non-conformities of design and survey