

УДК 631.81:631.811.1:632.122.2

РОЛЬ УДОБРЕНИЙ В АЗОТНОМ ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ НЕФТЬЮ

© 2020 г. В. М. Назарюк¹, Ф. Р. Калимуллина^{1,*}¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 8/2, Россия

*E-mail: fliura.kalimullina@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.06.2019 г.

После доработки 09.09.2019 г.

Принята к публикации 13.01.2020 г.

На серой лесной почве среднесуглинистого гранулометрического состава нефтяное загрязнение в полевых условиях в размере 2 т нефти/га особенно интенсивно снижало содержание нитратного азота в первый год проведения исследования. За этот период уменьшилось содержание нитратного азота с 6.5 до 3.8 и легкогидролизуемого – с 41 до 3.8 мг/кг. Количество аммонийного, трудногидролизуемого и негидролизуемого азота, напротив, существенно возросло. Загрязнение почвы нефтью привело к снижению продуктивности растений овса с 316 до 83 кг/га, выноса азота биомассой – с 31.6 до 10.6 кг/га. Также снизилось накопление белка биомассой овса с 198 до 66.3 кг/га. Изучение баланса азота в почве показало, что применение органических и минеральных удобрений на фоне нефтеносного загрязнения делало его положительным.

Ключевые слова: органические и минеральные удобрения, почва, нефть, азот, зерновые культуры.

DOI: 10.31857/S0002188120040092

ВВЕДЕНИЕ

Высокая техногенная нагрузка на агроэкосистемы вызывает различные нарушения почвенных процессов [1–3], что создает определенные трудности в оптимизации минерального питания растений. К числу наиболее опасных почвенных загрязнителей относится нефть и нефтепродукты [4, 5]. При таком загрязнении происходят существенные изменения в химическом составе, свойствах и структуре почвы [6], что отражается на продукционном процессе растений [7] и устойчивости экологически безопасного функционирования экосистем [8]. Выявлено, что под влиянием нефти ухудшается биологическая активность почвы, состояние и рост растений [9], повышаются энергозатраты в экосистемах на создание адаптированных и более устойчивых организмов к негативным воздействиям, затрудняется возможность сохранения биоразнообразия [10].

В последние годы помимо традиционных технологических приемов разрабатываются новые, менее затратные и достаточно эффективные подходы к восстановлению почвенно-экологических условий. Для ускорения окисления углеводородов используют активные, неадаптированные для зоны гипергенеза вещества в виде пероксидов ме-

таллов и пероксида водорода [11], эффективность последнего соединения возрастает при передаче электронов, когда реакции окисления осуществляются на основе ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . В анаэробных условиях с дефицитом кислорода в качестве акцепторов электронов пытаются приспособить специфику действия Fe^{3+} , сульфатов и диоксида углерода [12]. Несмотря на значительные успехи в приемах ремедиации нефтезагрязненных территорий все же основное внимание уделяется более выгодным и доступным агрохимическим приемам, среди которых применение минеральных и органических удобрений. Особое место занимает использование потенциала генотипа растений [13, 14]. Их применение позволяет быстрее восстановить функции почв, особенно с нарушенными физико-химическими свойствами. Выявлено, что загрязнение серой лесной почвы нефтью с отношением C : N = 370 : 1 вызывало снижение урожайности зерновых культур в течение 3 лет [15]. Особенно сильное негативное воздействие на развитие растений оказывает нефть в первый год. Внесение макро- и микроудобрений позволяет существенно улучшить минеральное питание и тем самым активизировать продукционный процесс растений. Принятие научно обоснованных решений требует *in situ* дать интеграль-

ную оценку экологического состояния природных и агроэкосистем [16, 17]. В этой связи разработка мероприятий, направленных на ускорение процессов восстановления пищевого режима почв и увеличения продуктивности растений в условиях неблагоприятного антропогенного воздействия на агроценоз является актуальной задачей.

Цель работы – изучение возможности активизации биологических процессов ремедиации путем оптимизации азотного режима почвы, загрязненной нефтью, в результате внесения органических и минеральных удобрений под зерновые культуры.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение возможностей улучшения азотного фонда серой лесной почвы, загрязненной нефтью, проводили в течение 2009–2013 гг. В период исследования осуществляли чередование зерновых культур по следующей схеме: овес (сорт Ровесник), ячмень яровой (сорт Ача), пшеница (сорт Новосибирская 22), ячмень (сорт Ача) в микрополевых опытах, в четырехкратной повторности. Учетная площадь делянки 0.35 м². Вносили на каждую делянку в виде органических удобрений перегной, исходя из расчета 10 т/га и минеральные удобрения (NPK)60 в виде N_{аа}, P_{сг} и K_х. В качестве загрязняющего фона была внесена разовая доза нефти Верх-Тарского месторождения Западно-Сибирского региона в пахотный слой каждой делянки, исходя из расчета 2 т/га. Такая доза нефти принята на основе экспериментальных исследований. При более высокой дозе токсичность ее оказывается слишком высокой, и удобрения, особенно минеральные, могут оказаться бесполезными. В этом случае нужны другие методы рекультивации почв.

Нефть Верх-Тарского месторождения характеризуется высоким качеством сырья, с минимальным количеством примесей, малопарафинистая, малосернистая. Содержание азота равно, по нашим данным, 0.2%, содержание углерода – 74%.

Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая, слабо обогашена гумусом, имела среднее содержание подвижного фосфора и низкое – обменного калия, рН_{H₂O} 7.2. Почву каждой делянки опыта оборачивали полиэтиленовой пленкой на глубину пахотного слоя, не разделяя верхний горизонт от нижнего. Этот объем почвы перемешивали с нефтью и удобрениями и после этого высевали семена зерновых культур.

Почвенные образцы отбирали весной и осенью, растительные – при уборке урожая. Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюрина, общий азот – колориметрическим методом по Несслеру, легкогидролизуемый азот – в 0.5 н. и трудногидролизуемый – в 5 н. H₂SO₄, негидролизуемый – по разности между валовым содержанием азота и трудногидролизуемым. Потенциальную нитрификационную способность загрязненной нефтью почвы определяли при ее компостировании в течение 1 мес. при комнатной температуре 23–24°C. Подвижный фосфор определяли по Чирикову, обменный калий – по Масловой, рН – потенциометрическим методом. В растениях также определяли азот после мокрого озоления по Кьельдалю, фосфор – колориметрическим методом на КФК-3, калий – методом атомно-адсорбционной спектrophотометрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В многолетнем опыте с зерновыми культурами на загрязненной серой лесной почве выявлено, что содержание минеральных форм азота зависело от факторов природного и техногенного происхождения (табл. 1). В послеуборочный период меньше всего азота в аммонийной форме, содержание которого обычно снижается к уборке, сохранилось в контрольном варианте в первый год исследования. Добавление минеральных удобрений в дозе N60P60K60 по-разному сказалось на содержании этой формы азота: наблюдали некоторое увеличение его содержания по сравнению с контролем, а также снижение и отсутствие заметного изменения в аккумуляции аммония. Внесение на этом фоне минеральных и органических удобрений приводило к разнообразным результатам: увеличению, снижению и отсутствию изменений в накоплении аммонийной формы азота. Небольшие отклонения в содержании аммония в почве связаны с обоснованными дозами органических и минеральных удобрений, несмотря на экологически неблагоприятное воздействие токсиканта на микробоценоз почвы. Поэтому злаковые растения были способны практически полностью усвоить азот, находившийся в их распоряжении.

Содержание нитратного азота практически во всех случаях было более высоким, чем аммонийного. Загрязнение почвы нефтью на уровне 2 т/га в первый год проведения эксперимента вызвало уменьшение величины этого показателя. В дальнейшем содержание нитратов в контрольном варианте и с загрязнением почвы нефтью было практически одинаковым, что свидетельствовало

Таблица 1. Содержание минеральных форм азота в почве, загрязненной нефтью, при применении органических и минеральных удобрений в послеуборочный период, мг/кг

Вариант	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Средние за 5 лет
N-NH ₄						
Контроль	0.8	0.4	2.0	1.7	2.8	1.5
Нефть (фон)	1.7	0.3	2.1	1.5	2.2	1.6
Фон + N60P60K60	1.9	2.5	2.1	1.8	1.4	1.9
Фон + N60P60K60 + ОУ*	2.4	0.9	2.1	2.2	2.6	2.0
HCP ₀₅	0.6	0.2	0.08	0.1	0.2	
N-NO ₃						
Контроль	6.5	8.4	8.0	7.6	7.3	10.6
Нефть (фон)	3.8	8.0	8.0	7.3	8.6	10.0
Фон + N60P60K60	4.6	9.6	13.4	7.7	11.3	11.3
Фон + N60P60K60 + ОУ	5.3	10.0	11.7	12.8	13.4	12.5
HCP ₀₅	0.5	0.9	0.8	1.9	1.5	

*ОУ – органические удобрения. То же в табл. 2–5 и на рис. 1, 2.

о способности почвенной биоты нейтрализовать токсическое действие внесенного углеводорода. Среди изученных вариантов многолетнего опыта по накоплению нитратного азота выделялся вариант с применением органических удобрений на фоне нефтяного загрязнения.

Обеспечение растений азотом зависит в первую очередь от образования минеральных его форм, по интенсивности и направленности формирования которых можно судить о токсичности нефти в автоморфных условиях среды (рис. 1). Оперативно получить информацию и оценить темпы образования нитратного азота в присутствии токсиканта можно путем компостирования почвы при оптимальном гидротермическом режиме. Исследования показали, что на фоне загрязнения почвы нефтью значительно меняется содержание нитратного азота в пахотном слое. Например, в верхнем гумусовом горизонте накопилось доступных соединений азота в контроле больше примерно в 10 раз, чем в исходном варианте. Загрязнение почвы нефтью существенно снизило содержание нитратного азота, даже несмотря на то что образцы отбирали в конце первого вегетационного периода, когда ингибирование процессов нитратонакопления в значительной мере было ослаблено. Внесение N60 в сочетании с фосфором и калием практически полностью компенсировало негативное действие нефти. Добавление органического удобрения заметно активизировало процессы нитрификации и даже произошел заметный прирост в содержании нитратного азота в загрязненной нефтью

почве. Это сказалось не только на пищевом режиме серой лесной почвы, но и на продукционном процессе растений.

Загрязнение почвы нефтью и внесение удобрений отразилось на содержании форм азота в пахотном слое неодинаково (табл. 2). Нефть относительно исходной формы вызвала снижение содержания минерального и легкогидролизуемого азота, но повысило количество трудногидролизуемой и негидролизуемой форм. Несмотря на имеющиеся изменения в содержании подвижных форм азота содержание валового азота осталось без изменений. Внесение минеральных удобрений способствовало восстановлению содержания форм азота в почве по сравнению с контролем, но существенные изменения произошли только в содержании трудногидролизуемой и негидролизуемой формы азота в случае применения органических удобрений на фоне минеральных. Отсюда видно, что загрязнение почвы нефтью отражалось в первую очередь на самых доступных формах азота, которые непосредственно связаны с функционированием микробоценоза и определяют экологическую устойчивость фитоценоза [18]. Повышение активности функционирования бактериального сообщества позволяет избежать длительного негативного воздействия на экосистему, быстрее восстановить биоразнообразие растительного компонента [19] и повысить тем самым устойчивость почвенно-экологических функций на неблагоприятной территории.

По содержанию форм азота невозможно оценить актуальную доступность азотсодержащих

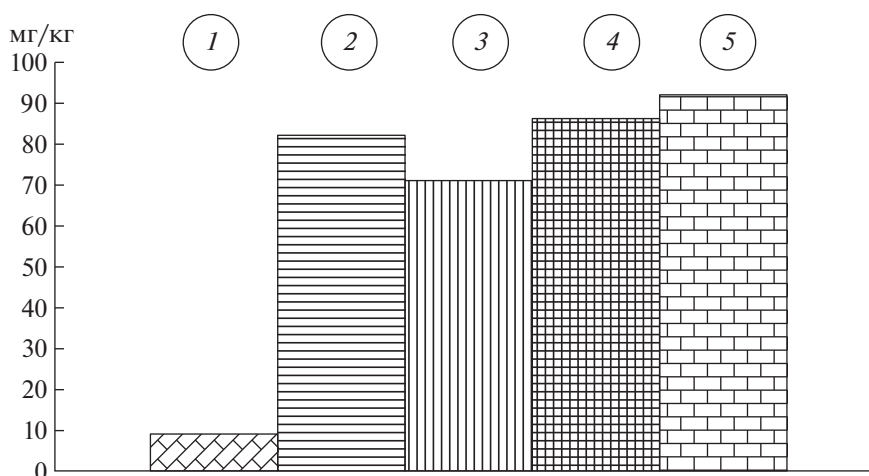


Рис. 1. Влияние удобрений на содержание нитратного азота при компостировании загрязненной нефтью почвы: 1 – исходное, 2 – контроль, 3 – нефть (фон), 4 – фон + NPK, 5 – фон + NPK + ОУ*.

соединений для зерновых культур в течение вегетационного периода. Более надежную информацию о состоянии фитоценоза можно получить на основе оценки продукционного процесса растений. Исследования показали (табл. 3), что самое большое снижение продуктивности растений наблюдали у овса в первый год проведения опытов, которое достигло для зерновой продукции 3.8 раза и вегетативной массы 3.4 раза. Негативное воздействие поллютанта отразилось также на накоплении общей биомассы и снижение относительно контроля составило 3.6 раза. Внесение минеральных удобрений в дозе N60P60K60 активизировало фотосинтетические процессы, что привело к возрастанию зерновой продукции, вегетативной и общей биомассы. Однако полностью компенсировать негативное воздействие нефтяного загрязнения не удалось. Использование органических удобрений в сочетании с минеральными

позволило существенно повлиять на продуктивность растений овса. Это свидетельствовало о том, что органические удобрения являются мощным фактором в ремедиации почв, подверженных воздействию нефтеносного загрязнения.

На второй год (2010 г.) при выращивании ячменя в результате загрязнения почвы углеводородным поллютантом продуктивность зерна заметно снизилась, однако синтез надземной вегетативной массы за этот же период значительно возрос в 2.1 раза. Это, вероятно, связано с тем, что листовой аппарат и в целом надземная вегетативная масса реагируют на загрязнение почвы нефтью менее остро, чем репродуктивный орган – колос злака. Различия в продуктивности в контрольном варианте были связаны еще и с тем, что изменялись погодные условия, влияющие на азотминерализующую способность почвы [20], от которой во многом зависела активность фотосин-

Таблица 2. Содержание форм азота в почве, загрязненной нефтью, при использовании органических и минеральных удобрений под зерновые культуры, мг/кг

Вариант	Минеральный	Легкогидролизуемый	Трудногидролизуемый	Негидролизуемый	Валовой
2009 г.					
Исходный	15	45	101	844	1010
Контроль	12	41	90	949	1090
Нефть (фон)	11	38	114	1034	1200
Фон + N60P60K60	13	38	107	1073	1200
Фон + N60P60K60 + ОУ	14	48	112	1010	1180
HCP ₀₅	0.5	3	74	80	90

Таблица 3. Урожайность зерновых культур при применении органических и минеральных удобрений на загрязненной нефтью почве

Вариант	Зерновая продукция	Вегетативная надземная масса	Общая биомасса	Прибавка урожая, %	Отношение зерновой продукции к вегетативной массе
	г/м ²				
Овес, 2009 г.					
Контроль	316	442	758	—	0.71
Нефть (фон)	83	130	213	—545	0.64
Фон + N60P60K60	280	373	653	—105	0.75
Фон + N60P60K60 + ОУ	336	403	739	—19	0.83
НСП ₀₅	31	35	65	16	0.05
Ячмень, 2010 г.					
Контроль	201	167	368	—	1.20
Нефть (фон)	181	348	529	—20	0.52
Фон + N60P60K60	424	378	802	223	1.12
Фон + N60P60K60 + ОУ*	482	405	887	281	1.19
НСП ₀₅	18	25	52	26	0.06
Пшеница, 2011 г.					
Контроль	141	246	387	—	0.57
Нефть (фон)	149	237	386	—6	0.63
Фон + N60P60K60	285	458	743	102	0.62
Фон + N60P60K60 + ОУ	318	552	870	125	0.58
НСП ₀₅	44	57	60	43	0.04
Овес, 2012 г.					
Контроль	288	342	630	—	0.84
Нефть (фон)	336	402	738	48	0.83
Фон + N60P60K60	510	534	1040	222	0.95
Фон + N60P60K60 + ОУ	516	570	1090	228	0.90
НСП ₀₅	44	29	110	18	0.06
Ячмень, 2013 г.					
Контроль	162	150	312	—	1.08
Нефть (фон)	144	150	294	—18	0.96
Фон + N60P60K60	432	432	882	270	1.00
Фон + N60P60K60 + ОУ	462	450	912	300	1.03
НСП _{0,5}	31	31	51	11	0.24

тетических процессов. Внесение минеральных удобрений или их сочетания с органическими привело к существенному увеличению урожайности ячменя. Значит, минеральное питание в условиях 2010 г. было фактором, лимитирующим продукционный процесс растений. В дальнейшем при выращивании зерновых культур тенденция к увеличению урожайности сохранилась. Отношение зерновой продукции к вегетативной массе изменялось в небольших пределах, за исключением условий 2010 г., когда значительно снизилась эта величина в варианте с нефтью.

Нефтяное загрязнение почвы и применение удобрений сказалось не только на продуктивности растений, но и на содержании в них азота (табл. 4). Наибольшие изменения произошли в зерне овса в первый год воздействия поллютанта на посев. Меньше всего азота содержалось в репродуктивном органе овса контрольного варианта, самое высокое — в варианте N60P60K60. Внесение органического удобрения в сочетании с минеральными не вызвало повышения аккумуляции этого элемента в зерне овса. В дальнейшем при выращивании ячменя в условиях 2010 г. законо-

Таблица 4. Влияние органических и минеральных удобрений на содержание и вынос азота зерновыми культурами при загрязнении почвы нефтью

Вариант	Содержание азота, %		Вынос N биомассой растений				
			кг/ га		на формирование 1 т урожая, кг		
	1	2	1	2	1	2	3
Овес, 2009 г.							
Контроль	0.95	0.12	31.6	5.3	10.0	1.7	11.7
Нефть (фон)	1.28	0.50	10.6	6.5	12.8	2.3	15.1
Фон + N60P60K60	1.46	0.32	40.9	11.9	14.6	4.2	18.8
Фон + N60P60K60 + ОУ*	1.21	0.23	33.9	9.3	10.1	2.8	12.9
HCP ₀₅	0.09	0.04	2.4	0.6	0.9	0.2	0.9
Ячмень, 2010 г.							
Контроль	1.28	0.19	25.7	3.2	12.8	1.6	14.4
Нефть (фон)	1.27	0.25	23.0	8.7	12.7	4.8	17.5
Фон + N60P60K60	1.31	0.32	55.5	12.1	13.1	3.2	16.3
Фон + N60P60K60 + ОУ	1.44	0.27	69.4	10.9	14.4	2.3	16.7
HCP ₀₅	0.09	0.04	2.3	0.6	0.8	0.2	0.8
Пшеница, 2011 г.							
Контроль	1.73	0.22	24.4	5.4	17.3	2.2	19.5
Нефть (фон)	1.96	0.18	29.2	6.9	19.6	2.9	22.5
Фон + N60P60K60	2.24	0.24	63.8	10.0	22.2	2.2	24.4
Фон + N60P60K60 + ОУ	2.45	0.17	77.9	9.4	24.5	1.7	26.2
HCP ₀₅	0.16	0.02	3.3	0.7	1.5	0.14	1.6
Овес, 2012 г.							
Контроль	1.42	0.37	40.9	12.6	14.2	3.7	17.9
Нефть (фон)	1.34	0.24	45.0	9.6	13.4	2.4	15.8
Фон + N60P60K60	1.62	0.33	46.2	17.6	9.1	3.3	12.4
Фон + N60P60K60 + ОУ	1.30	0.39	41.3	20.2	8.0	3.5	11.5
HCP ₀₅	0.04	0.02	3.7	1.1	0.9	0.2	0.9
Ячмень, 2013 г.							
Контроль	1.33	0.58	38.3	19.8	13.3	3.9	17.2
Нефть (фон)	1.05	0.60	35.3	24.1	10.5	2.6	13.1
Фон + N60P60K60	1.20	0.40	61.2	21.4	11.9	4.0	15.9
Фон + N60P60K60 + ОУ	1.23	0.43	63.5	24.5	12.3	4.3	16.6
HCP ₀₅	0.12	0.13	3.2	1.8	0.7	0.3	0.9

Примечание. В графе 1 – зерно, 2 – вегетативная биомасса, 3 – надземная биомасса.

мерность в основном сохранилась, хотя контрольный вариант и загрязненный нефтью по содержанию азота в зерне выровнялись. Примерно такая же ситуация в распределении азота по репродуктивным органам сохранилась и в условиях 2011–2013 гг. при выращивании пшеницы, овса и ячменя.

Различия в содержании азота в вегетативных органах были существенно контрастнее. Например, у овса в первый год его возделывания содер-

жание азота в контрольном и загрязненном вариантах отличалось в 4.2 раза. Большие различия отмечали и между другими вариантами, но только в первый год проведения опытов, на второй год различия в содержании азота в вегетативной надземной биомассе оказались значительно меньше. Отсюда видно, что самая сильная токсичность загрязнения нефтью на растения при применении органических и минеральных удобрений проявлялась в первый год и существенно меньше – во

Таблица 5. Баланс азота в загрязненной нефтью почве при применении органических и минеральных удобрений, кг/га

Вариант	Поступило в почву из различных источников азотного питания			Вынос азота биомассой растений	Баланс
	органические удобрения	минеральные удобрения	нефть		
Контроль	0	0	0	163.7	–163.7
Нефть (фон)	0	0	3.8	143.1	–139.3
Фон + N60P60K60	0	60	3.8	267.1	–203.3
Фон + N60P60K60 + ОУ*	60	60	3.8	286.0	–162.2

второй. В последующем контрастных различий в содержании азота в надземной биомассе не отмечали.

Значительные изменения в содержании азота в биомассе зерновых культур отразились на выносе азота как зерном, так и вегетативными органами. Самые большие отклонения в выносе этого элемента отмечали в первый год проведения опытов между загрязненным вариантом, контролем, вариантами с органическими удобрениями и NPK. Зерновые культуры больше всего усваивали азота при высоком уровне минерального питания, созданным за счет ежегодного внесения экзогенных питательных веществ и почвенных ресурсов. Созданный уровень минерального питания практически полностью удовлетворил потребность растений в азоте. Об этом можно судить по выносу азота в удобренных вариантах, который мало различался. Удельный расход азота на формирование 1 т урожая был несколько больше у пшеницы и заметно меньше у ячменя и овса. На формирование вегетативной массы зерновых культур расходовалось значительно меньше питательных элементов, чем зерновой продукции.

Под влиянием нефти и удобрений изменялись не только вынос макроэлементов надземной биомассой, но и баланс азота удобрений в почве. В контрольном варианте баланс имел отрицательную величину, от интенсивности и направленности которой зависел темп уменьшения плодородия почвы. Нефтяное загрязнение в большей степени стремилось стабилизировать потери азота за счет разложения органических веществ. Внесение N60 в сочетании с фосфором и калием не создало условия для положительного баланса этого элемента. Даже при внесении органических удобрений не удалось стабилизировать баланс азота в почве. Отсюда видно, что загрязнение почвы, если оно сопровождается внесением органических и минеральных удобрений, вызывает усиление синтеза биомассы растений. Поэтому в качестве

обязательного агротехнического приема необходимо включать внесение органических и минеральных удобрений при возделывании зерновых культур на техногенно загрязненных почвах. В таких условиях поглощение питательных элементов растениями способствует мобилизации их из почвенных ресурсов и усвоению в течение всего периода вегетации.

Установлено, что применение минеральных удобрений в агроценозах позволило не только повысить урожайность зерновых культур, но и улучшать качество продукции [21]. Однако роль нефтяного загрязнения на фоне применения органических и минеральных удобрений в этом процессе мало изучена. Приведенные нами исследования показали, что качество зерна зависело от биологических особенностей культур, использования удобрений и условий года. Больше всего синтезировалось протеина в зерне пшеницы и ячменя, значительно меньше – овса, особенно в условиях 2009 г. В первый год загрязнения почвы нефтью характер накопления белка в семенах сильно отличался от последующих лет (рис. 2). Накопление белка в зерне овса, выращенного в этот период при загрязнении почвы нефтью, отличалось по сравнению с другими вариантами в 3.0–3.9 раза. Заметным было снижение накопления белка и на второй год. В дальнейшем при выращивании пшеницы и овса (2011–2012 гг.) наблюдали даже некоторую активизацию синтеза белка в зерновой продукции. В целом отмечен циклический характер накопления белка в товарной продукции, что, вероятно, связано не только с токсичностью нефтяного загрязнения, но и с различной активностью и направленностью процессов минерализации–иммобилизации азота в гетеротрофном азотном цикле в связи с меняющимся поведением растений и микробиоценоза в загрязненной почве.

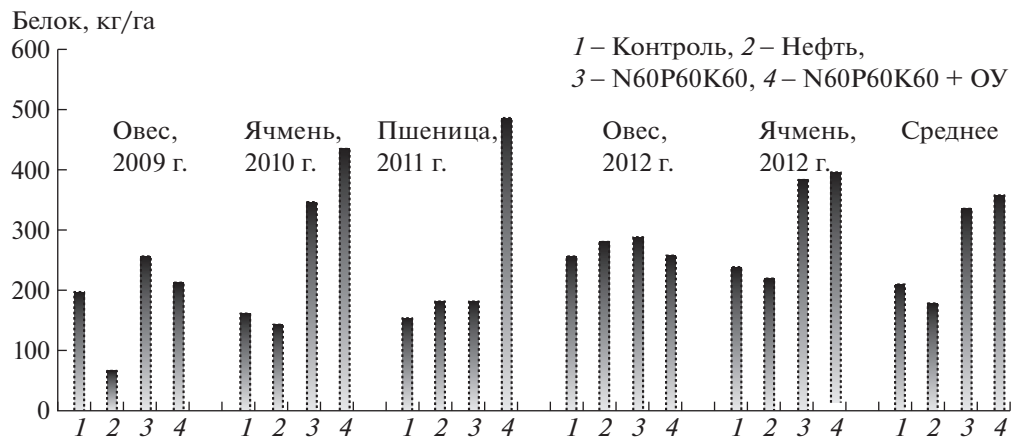


Рис. 2. Влияние нефти и удобрений на накопление белка в зерне злаков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что загрязнение серой лесной почвы нефтью при внесении органических и минеральных удобрений уже на второй год активизирует микробиологические процессы, приводящие к повышенному накоплению нитратного азота, улучшению физиологического состояния растений, активизации ростовых процессов и более значительному накоплению биомассы зерновых культур. От складывающихся условий года зависело содержание минерального азота в почве и потребление его растениями в течение вегетационного периода. Меньше всего накапливалось в почве в конце вегетационного периода аммонийной формы азота, хотя и варьировало в значительных пределах. Нитратный азот, несмотря на то, что он легко усваивается корневой системой растений, в период уборки присутствовал относительно аммонийного азота в повышенном количестве. Весьма низкое содержание нитратного азота в период уборки отмечено в первый год проведения опытов. В дальнейшем нефтяная токсичность ослабевала и накопление этой формы азота выравнивалось между вариантами. Загрязнение почвы нефтью влияло не только на самые доступные растениям формы азота, но и на органические. Содержание легкогидролизуемого азота снижалось при нефтяном загрязнении, трудногидролизуемого и негидролизуемого, напротив, заметно повышалось. Изменения в азотном режиме приводили к соответствующему отклику растений в процессе формирования урожая и его качества. При загрязнении нефтью серой лесной почвы на уровне 2 т/га заметно сказывались изменения в накоплении биомассы, содержании и выносе азота в течение 2-х лет, особенно в первый год проведения исследо-

вания. На качество зерна также влияло нефтяное загрязнение, которое следует учитывать при проведении ремедиационных работ в агроценозах Западной Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитишен В.И., Курганова Е.В. Плодородие и удобрение серых лесных почв ополей Центральной России. М.: Наука, 2007. 367 с.
2. Coulon F., Pelletier E., Louis R.S., Gourant L., Delille D. Degradation of petroleum hydrocarbons in two sub-antarctic soils: Influence of an oleophilic fertilizer // Environ. Toxicol. Chem. 2004. V. 23. № 8. P. 1893–1901.
3. Toy T.J., Foster G.R., Renard K.G. Soil erosion processes: Prediction, measurement, and kontrol. N.Y.: John Wiley and Sons, Inc., 2002. 338 p.
4. Ланина Т.Д., Быков И.Ю., Андреев К.В., Автомонов С.Г. Технологии полезной утилизации нефтепромышленных отходов применительно к нефтегазовому комплексу Тимано-Печерской нефтегазоносной провинции // Пробл. регион. экол. 2018. № 4. С. 46–53.
5. Cozzarelli I.M., Baedecce M.J., Eganhose R.P., Goerlitz D.F. Geochemical evolution of low-molecular-weight organic acids derived from degradation of petroleum contaminants in groundwater // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. V. 58. P. 863–877.
6. Горникова С.В., Середина В.П. Влияние нефти на физико-химические свойства почв нефтегазоносных районов Томского Севера. Томск, 1985. 34 с.
7. Назарюк В.М. Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 364 с.
8. Евсеева А.А. Биоразнообразие растительного компонента как показатель стабильности лесных экосистем // Пробл. регион. экол. 2018. № 4. С. 11–16.
9. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Салахова Г.М. Рост и развитие растений яровой пшеницы на нефтезагрязненных почвах при биоремедиации // Агрохимия. 2006. № 1. С. 85–90.

10. Минникова Т.В., Колесников С.И., Денисова Т.В., Акименко Ю.В. Интегральная оценка биологического состояния чернозема обыкновенного при ремедиации нефтезагрязнения // Пробл. агрохим. и экол. 2018. № 3. С. 56–60.
11. Водяницкий Ю.Н., Трофимов С.Я., Шоба С.А. Перспективные подходы к очистке почв и почвенно-грунтовых вод от углеводов (обзор) // Почвоведение. 2016. № 6. С. 755–764.
12. Kong S., Watts R.J. Treatment of petroleum soil using iron mineral catalyzed hydrogen peroxide // Chemosphere. 1998. V. 37. P. 1473–1482.
13. Рахимова Э.Р., Гарусов А.В., Зарипова С.К. Биологическая активность нефтезагрязненной почвы при засолении // Почвоведение. 2005. № 4. С. 481–485.
14. Бородулина Т.С., Полонский В.И. Влияние нефтезагрязнения почвы на физиологические характеристики растений пшеницы // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 5. С. 50–55.
15. Илларионов С.А. Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных почв. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 194 с
16. Назарюк В.М., Кленова М.И., Калимуллина Ф.Р. Роль минерального питания в повышении продуктивности растений и регулировании пищевого режима почвы, загрязненной нефтью // Агрохимия. 2007. № 7. С. 64–73.
17. Kong S., Watts R.J. Treatment of petroleum soil using iron mineral catalyzed hydrogen peroxide // Chemosphere. 1998. V. 37. P. 1473–1482.
18. Арзамасова А.В., Кинжаев Р.Р., Гальцова А.Н., Хрептугова А.Н. Влияние нефтезагрязнения на агрохимические свойства чернозема типичного и продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Пробл. агрохим. и экол. 2018. № 4. С. 21–25.
19. Солнцева Н.Р. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
20. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Гидротермический ресурс эродированных почв юга Западной Сибири // Плодородие. 2017. № 3. С. 35–39.
21. Минеев В.Г., Павлов А.Н. Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы. М.: Колос, 1981. 288 с.

Role of Fertilizers in Nitrogen Nutrition of Plants when Soil Is Contaminated with Oil

V. M. Nazaryuk^a and F. R. Kalimullina^{a, #}

^a Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
prosp. Akad. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia

[#] E-mail: fliura.kalimullina@yandex.ru

On the gray forest soil of medium-loamy granulometric composition, oil pollution in the field in the amount of 2 tons of oil/ha especially intensively reduced the content of nitrate nitrogen in the first year of the study. During this period, the content of nitrate nitrogen decreased from 6.5 to 3.8 and easily hydrolyzed – from 41 to 3.8 mg/kg. Amount of ammonium, hardly hydrolyzed and non-hydrolyzed nitrogen, on the contrary, increased significantly. Oil contamination of the soil led to a decrease productivity of oat plants from 316 to 83 kg/ha, and nitrogen removal by biomass from 31.6 to 10.6 kg/ha. The accumulation of protein by oat biomass also decreased from 198 to 66.3 kg/ha. The study of the nitrogen balance in the soil showed that the use of organic and mineral fertilizers against the background of oil pollution made it positive.

Key words: organic and mineral fertilizers, soil, oil, nitrogen, grain crops.