

Технологии оптимизации питательного режима нарушенных тундровых почв на биологическом этапе рекультивации

*А.В. Игловиков, К.С.-Х.Н.,
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья*

Обеспеченность растений питательными веществами из почвы зависит от ёмкости её катионного обмена, кислотно-щелочной характеристики, процесса высвобождения элементов питания из сложных соединений органической и минеральной части [1]. На Крайнем Севере рекультивации обычно подвергаются тундровые почвы песчаного и супесчаного гранулометрического состава, которые с биологической точки зрения относятся к биологически инертным субстратам с низким содержанием органического вещества и ничтожно малым запасом валовых форм питательных веществ. В связи с этим определяющую роль в формировании питательного режима для рекультивационных травосмесей играют минеральные удобрения [2, 3].

Тундровые почвы характеризуются неблагоприятными для выращивания растений физико-химическими и водно-физическими свойствами. В особенности это относится к нарушенным почвам, естественный растительный покров которых практически уничтожен [4].

Изменение условий произрастания растений при внесении мелиорантов, органических и минеральных удобрений происходит благодаря антропогенному улучшению показателей плодородия, поэтому **целью** нашего исследования была разработка технологии оптимизации питательного режима нарушенных тундровых почв при проведении биологической рекультивации.

Материал и методы исследования. Экспериментальная работа выполнена на нарушенных почвах Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (далее БНГКМ), находящегося в западной части среднего Ямала, в 110 км от Карского моря [5, 6].

Почвы были нарушены в результате размещения намывного грунта, который используется

при строительстве автомобильных, железных дорог, вахтовых посёлков, а также для создания искусственных почвосмесей, применяемых при рекультивации техногенно нарушенного почвенного покрова [7].

Климат Крайнего Севера обусловлен географическим положением. Среднегодовая температура воздуха в зоне тундры составляет -7°C , сумма эффективных температур не превышает 900°C . Вегетационный период в этих условиях длится до 70 сут. Годовое количество осадков обычно составляет 220–400 мм, 60% из них приходится на весенне-летний период. На глубине от 30 до 200 см в почве присутствует вечная мерзлота, которая формирует неблагоприятный температурный и микробиологический режим [8, 9].

При проведении опытов под многолетние травы вносили нитроаммофоску, содержащую по 16 д.в. азота, фосфора и калия (ГОСТ Р 51520). Основные показатели состава и свойств намывных грунтов изучали по общепринятым методикам. Физико-химический состав грунтов: азот – по Кьельдалю, гумус – по Тюрину, фосфор и калий – по Капенну – Гильковицу, насыщенность почвы основаниями – расчётным путём по ГОСТу 17.4.4.02-84. При изучении содержания в грунтах минерального (аммиачного и нитратного) азота использовали методику Грандваль – Ляжа, подвижного фосфора и калия – А.Т. Кирсанова, содержание гумуса – ГОСТ 23740-79.

Результаты исследования. Содержание органического вещества в исследуемых грунтах Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения очень низкое и соответствует значениям тундровых почв (табл.). Оно практически остаётся стабильным на протяжении восьми лет проведения полевого опыта. Перед его закладкой в слое 0–30 см количество органического вещества составляло 0,8%, через восемь лет – 1,1%. Наблюдается тенденция увеличения органического вещества в поверхност-

ном слое (0–10 см) за счёт разложения отмершей фитомассы ранее посеянных многолетних трав.

Внесение минеральных удобрений повысило содержание органического вещества на всех вариантах опыта. При внесении NPK по 90 кг д.в./га в среднем за пять лет его количество увеличилось на 0,3%, (NPK)₁₅₀ – на 0,32%, (NPK)₂₁₀ – на 0,61%. Максимальное различие в содержании органического вещества (0,1–0,23%) по вариантам опыта установлено на девятый год жизни многолетних трав. Объясняется данный факт медленным разложением фитомассы многолетних трав, поскольку почвенная микрофлора не обладает высокой активностью из-за низкой температуры воздуха и почвы. Зависимость между нормой внесения удобрений и содержанием органического вещества в слое грунта 0,3 м подтверждается коэффициентом корреляции, который за годы исследования варьировал от 0,7 до 0,96, что соответствовало тесной положительной связи.

Следует отметить, что изменение содержания органического вещества произошло практически только в верхних 20 см грунта. Именно в этом слое, как показали исследования, сосредоточено около 80% массы корней многолетних трав. На делянках опыта, где изучались нормы высева многолетних трав, агрохимические свойства грунтов практически не менялись, в том числе содержание органического вещества.

В результате внесения высоких доз минеральных удобрений существенно возросла обменная кислотность почвогрунта. Основными причинами этих изменений являются: вынос обменных оснований многолетними травами, внесение физически кислых минеральных удобрений и промывной тип водного режима грунтов в связи с их лёгким

гранулометрическим составом. Также нельзя не отметить очень низкую буферную способность тундровых почв. Самое заметное подкисление по всему слою 0,3 м было отмечено на фоне N₂₁₀P₂₁₀K₂₁₀. По сравнению с неудобренными делянками в среднем за восемь лет обменная кислотность увеличилась на 0,5 ед. При этом максимальные различия (0,7 ед. рН) были установлены в первый год после внесения удобрений. В последующие годы различия в кислотности снизились практически в 2 раза и не превышали 0,3–0,5 ед. рН. Механизм подкисления почвы при низких температурах можно отчасти объяснить тем, что с понижением температуры поглощение катионов относительно возрастает, а поглощение анионов снижается. Кроме того, при низкой температуре лучше поглощается аммиачный азот.

Важно отметить, что намывные грунты, используемые при обустройстве нефтегазовых месторождений полуострова Ямал, имеют близкую к нейтральной реакцию среды. Это обстоятельство существенно отличает их от тундровых почв, для которых характерна высокая кислотность. В связи с низкой обменной кислотностью отпадает необходимость в известковании при биологической рекультивации.

Многолетние травы в условиях пониженных температур Крайнего Севера нуждаются в большем содержании элементов питания в почве, чем принято в районах традиционного земледелия. На холодных почвах эффективность удобрений снижается вдвое против тёплых [9]. Основной лимитирующий элемент в питании растений на северных почвах – азот. При внесении полного минерального удобрения на долю азота приходится более 80% прибавки урожая от NPK [10].

Химические свойства грунтов БНГКМ при внесении минеральных удобрений

Вариант	Слой, см	Органическое вещество, %						рН (сол.)					
		дата взятия пробы											
		10.08.07 г.	07.09.08 г.	02.09.09 г.	01.09.10 г.	03.09.13 г.	11.09.15 г.	10.08.07 г.	07.09.08 г.	02.09.09 г.	01.09.10 г.	03.09.13 г.	11.09.15 г.
Контроль (без удобрений)	0–10	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	1,1	6,8	6,9	6,4	6,4	6,2	6,0
	10–20	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	6,6	6,7	6,6	6,3	6,2	6,0
	20–30	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	6,7	6,8	6,2	6,3	6,1	6,1
(NPK) ₉₀	0–10	0,8	0,8	1,1	1,2	1,3	1,3	6,8	6,2	6,0	5,9	5,8	5,8
	10–20	0,8	0,8	1,2	1,0	1,1	1,1	6,6	6,2	6,6	6,2	6,0	5,9
	20–30	0,7	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	6,7	6,0	6,6	6,2	6,2	6,0
(NPK) ₁₅₀	0–10	0,8	1,1	1,0	1,2	1,2	1,3	6,8	6,2	6,2	6,2	6,0	5,9
	10–20	0,8	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	6,6	6,2	6,0	5,9	5,9	5,9
	20–30	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	6,7	6,2	5,8	5,8	5,8	5,8
(NPK) ₂₁₀	0–10	0,8	1,0	1,3	1,4	1,3	1,3	6,8	6,2	5,6	5,4	5,4	5,5
	10–20	0,8	1,0	1,2	1,1	1,1	1,1	6,6	6,1	6,2	6,2	6,0	5,9
	20–30	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	6,7	6,1	6,4	6,0	5,9	5,8

Как известно, основные формы минерального азота, которые поглощаются растениями из почвы, – нитратная и аммиачная. Д.Н. Прянишников (1955) установил, что аммоний и нитраты хорошо усваиваются растениями, но по-разному, в зависимости от внешних условий, в частности от pH среды [11]. Растения лучше развиваются по нитратному азоту на почве с кислой реакцией среды, одинаково – со слабокислой реакцией и лучше по аммиачному азоту на почве с нейтральной реакцией [12].

В результате исследования установлено низкое содержание нитратного азота на всех вариантах опыта (рис. 1). Одной из причин этого является то, что нитрификация подавляется при температурах почвы ниже +10°C. Именно такой температурный режим имел место при проведении исследования [13].

На контрольных делянках в среднем за восемь лет его количество составляло 1,8 мг/кг. На делянках, где удобрения не вносили, содержание нитратов варьировало в течение вегетационного периода незначительно.

Максимальное содержание нитратного азота на контрольных делянках отмечалось глубже 2 см. В слое 0–10 см его наличие составляло 1,45 мг, 10–20 см – 1,55 мг, 20–30 см – 2,45 мг/кг. Всё это указывает на миграцию нитратного азота в лёгких по гранулометрическому составу грунтах. Кроме того, передвижение нитратов вниз по профилю обусловлено высокой водопроницаемостью песчаных и супесчаных грунтов. Просматривается тенденция снижения содержания нитратного азота на четвёртый год жизни многолетних трав вследствие вымывания. В последующие же четыре года жизни трав выявлена его стабилизация в 0,3-метровом слое на уровне 1,9 мг/кг.

На удобренных минеральными удобрениями делянках содержание нитратного азота было выше по сравнению с контролем во все сроки определения. При внесении NPK по 90 кг д.в./га нитратов содержалось в среднем за восемь лет исследования 2,0 мг, 150 кг/га – 2,25 мг, 210 кг/га – 3,6 мг/кг. Это было выше контроля соответственно на 11,1, 25,0, 100,0%. Максимальное количество нитратов

на всех удобренных делянках содержалось в конце вегетационного периода, что связано с усилением деятельности нитрифицирующих бактерий при повышении температуры грунта. Между содержанием нитратного азота в слое грунта 0,3 м и дозами минеральных удобрений имеется тесная связь, выражающаяся коэффициентами корреляции от 0,72 до 0,98.

С практической точки зрения большое значение имеет вертикальное распределение нитратного азота по профилю. В этом отношении получены очень интересные результаты. На фоне (NPK)₉₀ в среднем за восемь лет на глубине 20–30 см содержание нитратов составляло 3,1 мг/кг, в то время как в слое 0–20 см – 1,5 мг/кг, т.е. меньше в 2,2 раза. Ещё большие различия установлены при внесении (NPK)₁₅₀, соответственно 3,8 и 1,5 мг/кг, или меньше в 2,5 раза. Повышение дозы минеральных удобрений до (NPK)₂₁₀ кг д.в./га обеспечило содержание нитратного азота в слое 0–20 см в среднем за восемь лет 2,1 мг/кг, на глубине 20–30 см – 6,6 мг/кг. Учитывая, что основная масса корней многолетних трав находится в слое 0,2 м, можно говорить о слабом использовании нитратов. Концентрирование азота удобрений происходит на границе холодного экрана (мерзлотного слоя) за счёт термокапиллярного передвижения влаги и растворённого в ней азота. По мнению В.Д. Паникова и В.Г. Минеева (1987), слабое закрепление нитратов объясняется тем, что они обычно не входят в состав малорастворимых соединений и не поглощаются отрицательно заряженными коллоидами почвы.

Валовое содержание фосфора в исследуемых грунтах БНГКМ очень низкое – 0,71–0,87% от абсолютно сухой почвы. В связи с отсутствием растительного сообщества, которое является своего рода биогенным аккумулятором органического вещества и зольных элементов в верхнем слое грунта, не наблюдается увеличения валовых запасов фосфора в верхних горизонтах.

Низкие запасы фосфора в грунтах предопределяют высокую эффективность фосфорных удобрений (рис. 2). Содержание фосфора в среднем за восемь

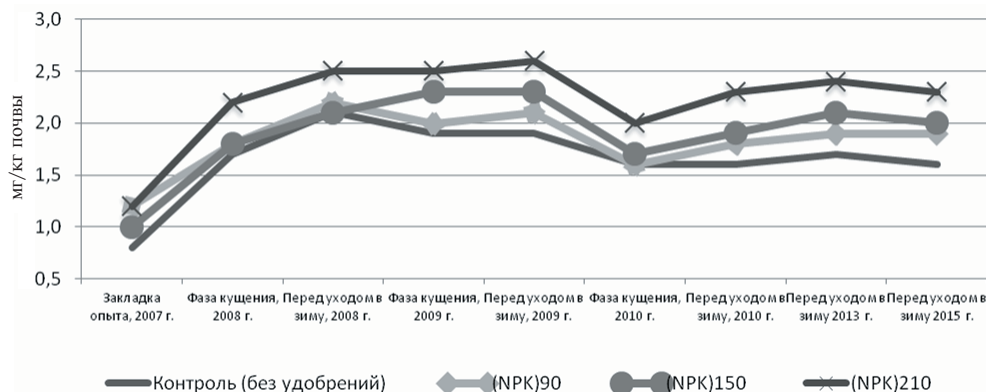


Рис. 1 – Содержание нитратного азота при внесении минеральных удобрений, мг/кг

лет без внесения удобрений составляло в слое 0,3 м 1,4 мг/100 г почвы. Во все сроки определения его минимальное количество установлено в слое 0–10 см (1,1–1,3 мг/100 г).

Объясняется это потреблением фосфора многолетними травами. На глубине 10–20 и 20–30 см его содержание было практически одинаковым, что указывает на хорошее закрепление фосфора путём формирования нерастворимых в воде соединений с железом и алюминием.

Внесение минеральных удобрений обеспечило повышение содержания подвижного фосфора в среднем за восемь лет исследования по сравнению с контролем на 14,3% (NPK)₉₀, 28,5% (NPK)₁₅₀, 35,7% (NPK)₂₁₀. Между содержанием подвижного фосфора в почве и нормами минеральных удобрений установлена тесная связь, выражающаяся коэффициентами корреляции от 0,95 до 0,99.

К концу вегетационного периода многолетних трав четвёртого года жизни прослеживалась тенденция снижения содержания подвижного фосфора на всех вариантах опыта, особенно где были внесены высокие нормы удобрений, но в течение следующих четырёх лет содержание фосфора стабилизировалось и оставалось на уровне 1,6 мг/кг. Данный факт свидетельствует о том, что для сохранения и повышения плодородия тундровых почв необходимо периодическое внесение минеральных удобрений, минимум один раз в три года.

В условиях Крайнего Севера очень важную роль в питании растений играет калий. Он повышает их холодостойкость, делает их способными расти при низких температурах. Нарушенные почвы БНГКМ содержат относительно большие запасы валового калия (0,42–0,54%). Основная его часть находится в доступной растениям форме, о чём свидетельствуют результаты его определения на контрольных делянках (рис. 3). В среднем за восемь лет исследования на неудобренных делянках его содержание составляло 7,6 мг/100 г. Важно отметить, что запасы подвижного калия на контрольных делянках к концу вегетации многолетних трав восьмого года жизни сократились от 12,8 до 7,6 мг/100 г. Минимальное количество калия находится в слое 0–10 см – 5,1 мг/100 г, что обусловлено его потреблением травами. Вниз по профилю грунта количество подвижного калия изменяется незначительно (10–20 см – 9,1 мг, 20–30 см – 10,2 мг/100 г).

Анализ полученных данных показывает, что калийные удобрения оказывают положительное влияние на его содержание в грунтах. Внесение NPK по 90 кг д.в./га увеличивает содержание подвижного калия в среднем за восемь лет в слое 0,3 м с 7,6 до 13,4 мг (76,3%), (NPK)₁₅₀ – до 14,8 мг (94,7%), (NPK)₂₁₀ – до 15,4 мг/100 г (102,6%). Между содержанием подвижного калия и нормами минеральных удобрений имеется тесная прямая связь.

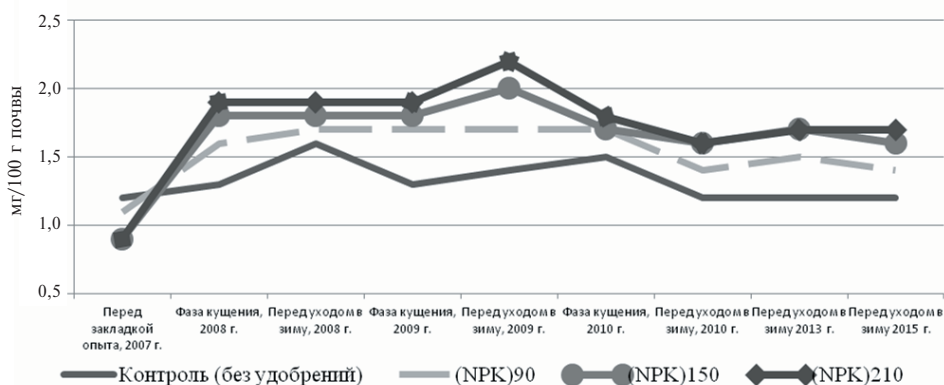


Рис. 2 – Содержание подвижного фосфора при внесении минеральных удобрений, мг/100 г почвы

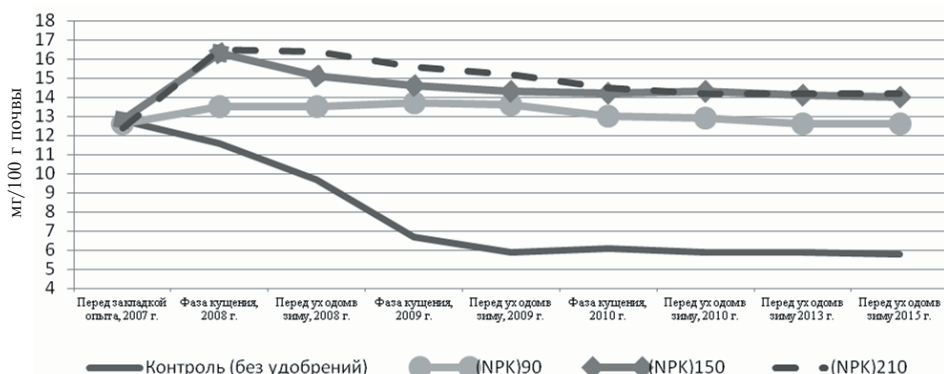


Рис. 3 – Содержание подвижного калия при внесении минеральных удобрений, мг/100 г почвы

Внесение калия способствовало его значительному передвижению вниз по профилю. Если на контрольных делянках на глубине 20–30 см среднее за восемь лет содержание калия составило 10,2 мг, то на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 16,9 мг, $N_{210}P_{210}K_{210}$ – 18,6 мг/100 г. Всё это указывает на слабое закрепление калийных удобрений в лёгких по гранулометрическому составу грунтах с низким содержанием органического вещества.

Выводы. 1. При внесении минеральных удобрений по 90 кг д.в./га в среднем за восемь лет количество органического вещества увеличилось на 0,3%, $(NPK)_{150}$ – на 0,32%, $(NPK)_{210}$ – на 0,61%. Максимальное различие в содержании органического вещества (0,1–0,23%) по вариантам опыта установлено на девятый год жизни многолетних трав.

2. В результате внесения высоких норм минеральных удобрений существенно возросла обменная кислотность почвогрунта. Максимальное подкисление произошло на фоне внесения дозы $N_{210}P_{210}K_{210}$. По сравнению с неудобренными делянками в среднем за восемь лет обменная кислотность увеличилась на 0,5 рН-единицы. При этом максимальные различия (0,7 рН-единицы) были установлены в первый год после внесения удобрений.

3. Внесение минеральных удобрений повышает содержание аммиачного азота в слое 0,3 м по сравнению с контролем на 12,5% $(NPK)_{90}$, 56,2% $(NPK)_{150}$, 62,5% $(NPK)_{210}$.

4. Валовое содержание фосфора в намытых грунтах очень низкое – 0,71–0,87% от абсолютно сухой почвы. Внесение минеральных удобрений обеспечило повышение содержания подвижного фосфора в среднем за восемь лет исследования по сравнению с контролем на 14,3% $(NPK)_{90}$, 28,5% $(NPK)_{150}$, 35,7% $(NPK)_{210}$.

5. Намытые грунты БНГКМ содержат относительно большие запасы валового калия (0,42–0,54%). Калийные удобрения положительно влияют на его содержание в грунтах. Внесение NPK по 90 кг д.в./га приводит к увеличению содержания подвижного калия в слое 0,3 м на восьмой год

жизни растений на 76,3%, $(NPK)_{150}$ – на 94,7%, $(NPK)_{210}$ – на 102,6%.

6. Обязательным приёмом улучшения питательного режима для создания устойчивых фитоценозов из многолетних трав при проведении биологического этапа рекультивации тундровых почв является внесение повышенных доз минеральных удобрений $(NPK)_{90-160}$.

Литература

1. Игловиков А.В. Биологическая рекультивация карьеров в условиях Крайнего Севера: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2012.
2. Игловиков А.В. Оптимизация питательного режима нарушенных грунтов Крайнего Севера // Почвенные ресурсы Сибири: Вызовы XXI века: сб. матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участ., посвящ. 110-летию выдающегося организатора науки и первого директора ИПА СО РАН Романа Викторовича Ковалева, г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2017. Ч. II. 168–172.
3. Моторин А.С. Микрофлора осушаемых торфяных почв Северного Зуралья // Аграрный вестник Урала. 2017. № 10 (164). С. 20–24.
4. Eremin, D., Eremina, D. Influence of granulometric composition structure of anthropogenic – reformed soil on ecology of infrastructure // Procedia Engineering. 2016. No. 165. pp. 788–793.
5. Igllovikov A.V. The development of artificial Phytocenosis in Environmental Construction in the far North / A.V. Igllovikov // Procedia Engineering. Volume 165, 2016, P. 800–805.
6. Моторин А.С., Игловиков А.В. Физико-химические свойства и питательный режим нарушенных грунтов Крайнего Севера при их биологической рекультивации // Аграрный вестник Урала. 2012. № 7 (99). С. 66–71.
7. Моторин А.С., Игловиков А.В. Рост и развитие многолетних трав в условиях Крайнего Севера при применении новых агромелиоративных приёмов на биологическом этапе рекультивации // Аграрный вестник Урала. 2012. № 7 (99). С. 63–66.
8. Игловиков А.В., Денисов А.А. Динамика развития искусственно созданного растительного покрова в условиях Крайнего Севера после проведения биологического этапа рекультивации // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зуралья. 2014. № 3 (26). С. 57–61.
9. Дмитриев Н.Н. Зональные основы системы удобрений в земледелии Иркутской области / Н.Н. Дмитриев, В.В. Житов. Иркутск: ИрГСХА, 2013.
10. Прянишников Д.Н. Агрохимия. М.: Россельхозиздат, 1955. Т. 1. С. 154–261.
11. Игловиков А.В., Моторин А.С. Биологическая рекультивация нарушенных земель в условиях Крайнего Севера // Агропродовольственная политика России. 2014. № 3 (27). С. 26–30.
12. Зейналов Б.Г. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы на основных типах почв низменной части Нахичеванской АССР: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Баку, 1968. 28 с.
13. Тихановский А.Н. Теория и практика применения удобрений на почвах Крайнего Севера. М.: Изд-во «Научный консультант», 2015. 273 с.