

НИТРАТНЫЙ РЕЖИМ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ БУРЯТИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

© 2020 г. А. С. Билтуев^{1,*}, Л. В. Будажапов¹, А. К. Уланов¹

¹Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
670045 Улан-Удэ, ул. Третьякова, 25з, Россия

*E-mail: global@burniish.ru

Поступила в редакцию 15.01.2020 г.

После доработки 12.02.2020 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

Представлены результаты исследования нитратного режима каштановых почв под культурами зернопарового севооборота в зависимости от применения различных систем удобрения в вегетационно-полевом и стационарном полевом опытах. Установлены уровни содержания нитратов при посеве, динамика их изменения в течение вегетации зерновых культур и распределение в профиле почвы. Определено влияние факторов тепло- и влагообеспеченности на содержание нитратного азота в период посева культур.

Ключевые слова: каштановая почва, зерновые культуры, удобрения, содержание нитратов.

DOI: 10.31857/S0002188120060046

ВВЕДЕНИЕ

Содержание азота и его доступных форм является важнейшим показателем плодородия почв. Кривоаридные условия функционирования сухих степей Забайкалья формируют почвы с укороченным профилем и низким содержанием гумуса. В соответствии с этим, в пахотном горизонте каштановых почв содержится незначительное количество общего и минерального азота. Недостаток наиболее подвижной формы – нитратного азота – является основным агрохимическим фактором, лимитирующим продуктивность полевых культур в сухостепной зоне Бурятии. Между тем, применение минеральных и органических удобрений в аридных условиях не гарантирует высокой обеспеченности растений азотным питанием [1–3].

В каштановых почвах доминируют актиномицеты при очень низком содержании грибов и бактерий, что свидетельствует о ксерофитном характере микробоценоза [4–6]. В оптимальных условиях увлажнения и температур проявляется высокая энергия аммонификационных и нитрификационных процессов [6, 7]. Однако в полевых условиях, при неблагоприятном увлажнении их интенсивность значительно сокращается в соответствии с численностью микроорганизмов. Например, в условиях типичной засухи численность аммонификаторов снижается от десятков милли-

онов до тысяч, а нитрификаторов – от сотен до следов в 1 г почвы [6]. Подобное обусловлено тем, что аммонификаторы в большей степени адаптированы к жесткому гидротермическому режиму сухой степи. Вследствие низкого содержания органического вещества и короткого периода микробиологической активности в каштановых почвах Бурятии накапливается малое количество нитратного азота. Основным агротехническим приемом повышения плодородия почв является применение минеральных и органических удобрений. В краткосрочных полевых опытах [8] при определении эффективных форм азотных удобрений и способов их внесения установлено, что наибольшей нитрификации подвергаются водный аммиак, мочевины и более медленно – сульфат аммония, а азот удобрений, внесенный под зяблевую вспашку, сохраняется до весны без существенных потерь. В многолетнем агрохимическом опыте [9] определены темпы накопления нитратного азота в паровом поле, динамика его содержания под культурами севооборота. Доказано, что запасы нитратов осенью в почве находятся в обратной зависимости от урожайности культур; установлено увеличение содержания нитратного азота при внесении удобрений как в верхних (0–40 см), так и в нижних (60–100 см) слоях почвенного профиля, свидетельствующее о нисходя-

щей миграции при выпадении обильных осадков; выявлена тесная связь прибавки урожаев при внесении азотных удобрений с количеством нитратов в верхних горизонтах почвы. Между тем, научные исследования нитратного режима каштановых почв, проведенные в полевых опытах, представлены в незначительном количестве, и в целом они основаны на материалах 1960–1990 гг. прошлого века. В современных условиях, при усилении аридизации климата сухих степей подвергается изменениям весь блок климатических, почвенных и биологических условий функционирования агроценозов, где проявляются иные аспекты нитратного режима каштановых почв. Характеристика нитратного пула каштановых почв и определение закономерностей его изменения при внесении удобрений является целевой установкой наших исследований. Многолетние данные позволяют не только статистически обобщить показатели нитратного режима, но и оценить влияние различных факторов на его динамику.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение нитратного режима каштановой почвы проводили в вегетационно-полевом (2000–2002 гг.) и длительном полевом агрохимическом (1996–2019 гг.) опытах БурНИИСХ, заложенных в богарных условиях в центральной сухостепной зоне Бурятии. В вегетационно-полевом опыте изучали динамику содержания нитратов под культурами севооборота пар–пшеница–ячмень–овес в вариантах контроль и N60P40K40. Удобрения вносили в сосуды без дна, площадью 0,09 м² в слой 0–20 см почвы перед посевом культур, повторность в опыте восьмикратная [10]. В длительном стационарном опыте под культурами зернопарового севооборота (пар–яровая пшеница–овес–овес на зеленую массу) – в контрольном (без удобрений) и в вариантах с внесением полного минерального (N40P40K40) и органического (навоз 40 т/га) удобрений определяли влияние факторов среды на накопление стартовых запасов нитратного азота ко времени посева в различных слоях почвы. Органические удобрения вносили в паровое поле, минеральные (N_{аа}, P_{сд}, K_х) – под культуры севооборота. Агротехнологические операции по возделыванию культур выполняли в соответствии с рекомендованной зональной системой земледелия. Посев первой культуры – пшеницы после пара проводили в 1-й декаде мая, овса после пшеницы – во 2-й декаде мая, овса на зеленую массу – во 2-й декаде июня. Повторность в опыте четырехкратная, размеще-

ние вариантов – систематическое, учетная площадь делянок – 100 м². В опытах высевали районированные сорта: пшеницы – Селенга, овса – Гэсэр, ячменя – Наран.

Для изучения особенностей морфологического строения почвы на территории опытного участка был заложен почвенный разрез с координатами N 51°43'45.20"; E 107°14'51.75". Изученная почва отнесена к стволу постлитогенных почв, отделу светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных, типу каштановые. Она характеризуется наличием светлогумусового горизонта AJ, мощностью 24 см, ниже которого залегает ксерометаморфический горизонт ВМК (24–40 см). На глубине 40–70 см залегает текстурно-карбонатный горизонт САТ, бурно вскипающий от соляной кислоты. Ниже размещается супесчаная с прослойками мелкого щебня почвообразующая порода С_{са}. Ведущими почвенными процессами при формировании почвы является аккумуляция и трансформация светлогумусовых соединений и педогенная мобилизация карбонатов [11]. Пахотный горизонт – супесчаный бесструктурный либо слабоструктурен, с малым диапазоном активной влаги, обладает высокой водопроницаемостью и слабой водоудерживающей способностью. Почвенный профиль практически однообразен по гранулометрическому составу и представлен супесями с преобладанием крупно-, средне- и мелкопесчаных фракций. Агрофизические свойства почвы неблагоприятные (табл. 1). Почвы значительно уплотнены, плотность сложения и твердой фазы почвы увеличивалась с глубиной.

Почва – старопахотная, агрохимический опыт на данном участке был заложен в 1967 г. и продолжается в настоящее время. В результате длительного применения удобрений изменился и агрохимический статус почвы (табл. 2). Пахотный слой характеризуется реакцией среды, близкой к нейтральной, низким содержанием гумуса и общего азота. Содержание подвижного фосфора изменялось в вариантах опыта от высокого в контроле до очень высокого в удобренных вариантах; калия – от среднего в контроле, до повышенного при применении N40P40K40 и высокого в варианте применения органических удобрений.

Метеорологические условия периода исследований соответствовали тренду аридизации территории [12]. Характеристика засушливости идентифицировалась по классификации, описанной в работе [13], в качестве определяющего климатического показателя выбран ГТК (по Селянинову) за май–август. За исследованный период с 1996 по 2019 г. 9 лет отмечали сильные засухи с ГТК = 0.3–0.6,

Таблица 1. Физические и водно-физические свойства каштановой почвы опытного участка

| Слой, см | Плотность сложения | Плотность твердой фазы | МГ | ВУЗ | НВ | Порозность общая, % от объема |
|----------|--------------------|------------------------|----------------------------|-----|------|-------------------------------|
| | г/см ³ | | % от абсолютно сухой почвы | | | |
| 0–10 | 1.43 | 2.65 | 2.03 | 3.1 | 11.3 | 46 |
| 20–30 | 1.50 | 2.68 | 2.11 | 4.0 | 10.8 | 44 |
| 50–60 | 1.67 | 2.71 | 2.17 | 3.5 | 12.1 | 38 |
| 90–100 | 1.71 | 2.71 | 2.00 | 3.4 | 9.0 | 36 |

Примечание. МГ – максимальная гигроскопичность, ВУЗ – влажность устойчивого завядания, НВ – наименьшая влагоемкость.

Таблица 2. Показатели плодородия пахотного слоя почвы в различных вариантах применения удобрений

| Вариант | рН _{Н₂О} | Гумус, % | Общий азот, мг/кг | Р ₂ О ₅ подв | К ₂ О _{обм} |
|---------------|------------------------------|----------|-------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | мг/кг (по Чирикову) | |
| Контроль | 6.9 | 0.87 | 720 | 140–171 | 66–78 |
| N40P40K40 | 6.7 | 1.05 | 810 | 233–269 | 85–93 |
| Навоз 40 т/га | 6.9 | 1.71 | 1050 | 243–295 | 161–188 |

Таблица 3. Продуктивная влага под культурами зернопарового севооборота перед посевом

| Культура | Слой почвы, см | Содержание продуктивной влаги, мм | | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------------------------|----------|-----------|------------------------------|-------------|
| | | <i>M ± m</i> | <i>σ</i> | lim | <i>M ± t_{0.05m}</i> | <i>V, %</i> |
| Пшеница | 0–20 | 13.8 ± 1.9 | 6.3 | 6.0–27.0 | 9.6–18.0 | 45.0 |
| | 0–50 | 51.2 ± 7.1 | 23.4 | 11.2–90.0 | 35.7–66.7 | 45.7 |
| Овес | 0–20 | 10.1 ± 2.3 | 7.8 | 2.0–26.0 | 4.9–15.3 | 76.9 |
| | 0–50 | 27.2 ± 4.7 | 15.7 | 9.0–57.0 | 16.8–37.7 | 57.9 |
| Овес на зеленую массу | 0–20 | 9.2 ± 2.3 | 7.8 | 1.0–20.0 | 4.0–14.4 | 84.5 |
| | 0–50 | 30.5 ± 5.4 | 17.8 | 6.0–62.0 | 18.7–42.3 | 58.2 |

5 лет – умеренные засухи с ГТК = 0.6–0.8 (1996, 2000, 2002, 2005, 2009 гг.), 3 года – слабые засухи с ГТК = 0.8–1.0 и 7 лет – обеспеченного увлажнения с ГТК = 1.0–1.3. В среднем, по нашим многолетним данным, в условиях сухой степи Бурятии относительно благоприятные условия для накопления нитратов в почве наблюдались в короткий

период со второй декады июля по вторую декаду августа (рис. 1).

Влажность почвы зависела не только от метеорологических факторов, но и размещения культур в зернопаровом севообороте. По мере удаления от парового поля снижалось содержание продуктивной влаги в почве (табл. 3). Отметим, что

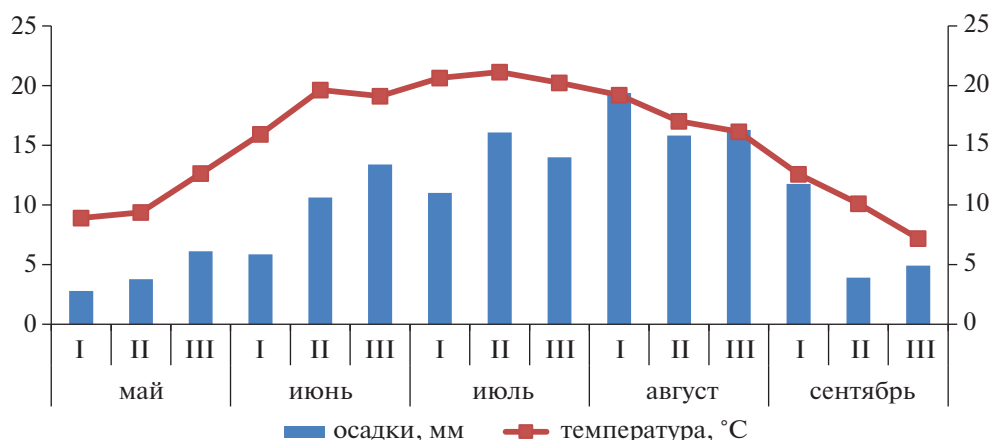


Рис. 1. Метеорологические условия в период проведения исследования (по данным Иволгинской АМС).

Таблица 4. Изменение содержания N-NO₃ в слое 0–20 см почвы под зерновыми культурами в течение вегетационного сезона (2000–2002 гг.)

| Вариант (фактор А) | Год | N-NO ₃ , мг/кг (фактор В) | | | M ± m |
|------------------------|-------|--------------------------------------|-----------|-------------|-----------|
| | | весна | лето | осень | |
| | 2000 | 3.3 ± 0.6 | 0.3 ± 0.1 | 2.53 ± 0.44 | 2.0 ± 0.2 |
| | 2001 | 2.9 ± 0.4 | 0.3 ± 0.2 | 0.21 ± 0.09 | 1.2 ± 0.1 |
| | 2002 | 1.7 ± 0.4 | 0.4 ± 0.1 | 0.08 ± 0.03 | 0.7 ± 0.1 |
| | M ± m | 2.6 ± 0.3 | 0.3 ± 0.1 | 0.90 ± 0.30 | 1.3 ± 0.2 |
| N60P40K40 | 2000 | 4.7 ± 0.5 | 1.1 ± 0.3 | 2.36 ± 0.58 | 2.7 ± 0.3 |
| | 2001 | 4.7 ± 0.3 | 0.3 ± 0.1 | 1.47 ± 0.27 | 2.2 ± 0.1 |
| | 2002 | 4.0 ± 0.3 | 1.3 ± 0.4 | 2.41 ± 0.49 | 2.6 ± 0.2 |
| | M ± m | 4.4 ± 0.2 | 0.9 ± 0.2 | 2.1 ± 0.3 | 3.1 ± 0.2 |
| HCP ₀₅ (A) | | | | | 0.4 |
| HCP ₀₅ (B) | | | | | 0.5 |
| HCP ₀₅ (AB) | | | | | 0.7 |

под первой культурой – пшеницей после пара содержание продуктивной влаги относительно других полей было не только больше, но и более стабильным.

Отбор почвенных образцов для определения содержания нитратов производили в длительном стационарном опыте перед посевом культур, в вегетационно-полевом опыте – в 3 срока: весной при посеве в 1-й декаде мая, летом в 3-й декаде июля, осенью в 3-й декаде сентября.

Агрофизические свойства почв определяли общепринятыми методами [14]. Агрохимические показатели определяли следующими методами: рН_{H2O} – потенциометрическим, гумус – по Тюрину, общий азот – по Кьельдалю, нитратный азот – потенциометрическим, подвижные формы фосфора и калия – по Чирикову [15]. Результаты обрабатывали математико-статистическими методами по [16]. Тренды динамики показателей построены на основе метода наименьших квадратов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На территории Сибири в агрохимических опытах с полевыми культурами определено преимущественное потребление растениями нитратного азота. При наличии значительного количества обменного аммония в почвах растения ощущали дефицит азотного питания, и применение азотных удобрений обеспечивало значимую прибавку урожая [17–21]. Характеристика нитратного пула каштановых почв и закономерности его изменения представлены через описание различных показателей: динамики изменения его содержания в период весна–лето–осень, содержания

нитратов перед посевом в зависимости от систематического внесения удобрений и распределения N-NO₃ в профиле почв.

Динамика изменения содержания нитратов под зерновыми культурами в течение вегетационного периода представлена по результатам вегетационно-полевого опыта (табл. 4). Содержание нитратного азота перед посевом в засушливых условиях 2000–2002 гг. оказалось очень низким не только в контроле (lim = 1.7–3.3 мг/кг), но и при внесении N60 в составе полного минерального удобрения (lim = 4.1–4.8 мг/кг). Динамика N-NO₃ в слое 0–20 см слое обусловлена преобладанием иммобилизации над нитрификацией. В связи с этим обеспечение азотным питанием растущих растений привело к снижению содержания нитратов практически до следов в летний период. К моменту достижения зерновыми культурами восковой спелости резко сокращались объемы азотного питания. В условиях сухой степи Бурятии это, как правило, происходило в 3-й декаде августа. В зависимости от сочетания метеорологических условий варьировала и нитрификационная активность почвы. При относительно влажной и теплой погоде (2000 г.) содержание нитратов существенно возрастало к моменту уборки, в более засушливых условиях отмечали либо стабилизацию на уровне середины лета, либо дальнейшее снижение их содержания (2001–2002 гг.). С момента уборки до весны следующего года содержание нитратов существенно не менялось. Запасы нитратов в целом за период наблюдений были в несколько раз меньше, чем содержание обменного аммония. Подобное было обусловлено преимущественным потреблением

Таблица 5. Влияние систематического внесения удобрений на содержание нитратного азота под культурами при посеве (средние за 2009–2019 гг.)

| Вариант (фактор А) | Слой, см | Содержание N-NO ₃ ⁻ под культурами, мг/кг (фактор В) | | | | | |
|-------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | пшеница | | овес | | овес на з/м | |
| | | <i>M ± m</i> | <i>V, %</i> | <i>M ± m</i> | <i>V, %</i> | <i>M ± m</i> | <i>V, %</i> |
| Контроль | 0–20 | 3.5 ± 0.2 | 29.3 | 2.5 ± 0.4 | 49.5 | 3.2 ± 0.5 | 52.4 |
| | 0–40 | 6.7 ± 0.5 | 30.3 | 4.8 ± 0.7 | 49.7 | 6.1 ± 1.2 | 66.9 |
| N40P40K40 | 0–20 | 4.3 ± 0.4 | 27.5 | 3.3 ± 0.6 | 57.0 | 3.5 ± 0.5 | 46.8 |
| | 0–40 | 8.3 ± 0.5 | 21.7 | 7.0 ± 1.1 | 50.2 | 6.9 ± 0.8 | 41.4 |
| Навоз 40 т/га | 0–20 | 4.7 ± 0.3 | 20.9 | 3.5 ± 0.5 | 47.6 | 4.2 ± 0.3 | 27.2 |
| | 0–40 | 9.1 ± 0.6 | 20.4 | 7.1 ± 1.0 | 45.6 | 7.8 ± 0.6 | 25.1 |
| <i>HCP</i> ₀₅ (А) | 0–20 | 0.8 | | | | | |
| | 0–40 | 1.6 | | | | | |
| <i>HCP</i> ₀₅ (В) | 0–20 | 0.8 | | | | | |
| | 0–40 | 1.6 | | | | | |
| <i>HCP</i> ₀₅ (АВ) | 0–20 | 1.4 | | | | | |
| | 0–40 | 2.8 | | | | | |

нитратной формы азота и очень низкой нитрификационной активностью почв в засушливый период, в целом сопутствующий исследованиям.

Стартовое содержание N-NO₃ в почве при посеве является диагностическим признаком обеспеченности растений азотным питанием [22–27]. Вид удобрения, удаленность культур во времени от парового поля оказали существенное влияние на содержание нитратного азота в пахотном и подпахотном слоях почвы. В зернопаровом севообороте пар–пшеница–овес–овес на зеленую массу определили влияние систематического применения удобрений и климатических условий на накопление нитратов перед посевом культур (табл. 5).

Содержание нитратов в почве под пшеницей после парового предшественника в контрольном варианте в целом за 11 лет наблюдений варьировало в пределах 1.8–5.4 мг/кг в слое 0–20 см и 2.0–11.5 мг/кг в слое 0–40 см. Столь низкое содержание нитратов под пшеницей за весь период наблюдений было обусловлено тем, что паровое поле не обеспечивало благоприятных условий для нитрификационных процессов, в первую очередь из-за недостаточного почвенного увлажнения. Например, из 11-ти лет в 8-ми отмечали сильную засуху, причем в последние 5 лет – ежегодную. Внесение полных минеральных и органических удобрений позволило повысить содержание N-NO₃ соответственно на 23–24% в слое 0–20 см и на 24–36% – в слое 0–40 см. Влияние факторов среды на накопление нитратов под

пшеницей было различным в вариантах опыта. В контроле величина коэффициента корреляции возрастала в ряду: продуктивная влага в слое 0–40 см ($r = 0.09 \pm 0.33$), температура воздуха ($r = 0.23 \pm 0.32$), осадки в декаду посева ($r = 0.57 \pm 0.27$). При внесении минеральных удобрений показатели влияния факторов среды были практически равными: продуктивная влага в слое 0–40 см ($r = 0.37 \pm 0.31$), температура воздуха ($r = 0.23 \pm 0.32$), осадки в декаду посева ($r = 0.40 \pm 0.31$). Более значимые связи отмечены в варианте с внесением органических удобрений: зависимость от продуктивной влаги и осадков повысилась соответственно до $r = 0.66 \pm 0.25$ и $r = 0.59 \pm 0.27$. Наличие существенных связей содержания нитратов в варианте применения органических удобрений с влажностью почвы и осадками доказало усиление нитрификации при увеличении массы органических остатков.

Вторая культура – овес после пшеницы – находилась в менее благоприятных условиях увлажнения, чем пшеница, в силу удаления во времени от парового поля. Вследствие этого содержание нитратов было достоверно меньше и в среднем в контроле составило 2.5 мг/кг при размахе от 0.8 до 4.2 мг/кг в пахотном слое, в подпахотном слое показатели были схожими. Ежегодное внесение N40 в составе полного минерального удобрения привело к увеличению содержания нитратов в слое 20–40 см почвы, вследствие этого в целом в слое 0–40 см отмечено существенное повышение содержания N-NO₃ (на 45%). Более значимый

Таблица 6. Распределение N-NO₃ в профиле почвы в контрольном варианте перед посевом (средние за 1996–2012 гг.)

| Культура (фактор А) | Слой, см (фактор Б) | Статистические показатели N-NO ₃ , мг/кг | | | | |
|------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|----------|----------|-------------------|------|
| | | $M \pm m$ | σ | lim | $M \pm t_{0.05}m$ | V, % |
| Пшеница | 0–20 | 5.9 ± 0.8 | 3.4 | 1.8–14.7 | 4.1–7.6 | 57.9 |
| | 20–40 | 4.6 ± 0.7 | 3.0 | 1.5–13.4 | 3.1–6.1 | 64.3 |
| | 40–60 | 3.3 ± 0.6 | 2.5 | 0.7–10.6 | 2.1–4.6 | 75.3 |
| | 60–80 | 3.2 ± 0.6 | 2.5 | 1.0–10.0 | 2.0–4.5 | 77.9 |
| | 80–100 | 3.0 ± 0.6 | 2.5 | 1.0–10.5 | 1.7–4.2 | 83.1 |
| Овес | 0–20 | 2.5 ± 0.4 | 1.7 | 1.3–7.5 | 1.6–3.4 | 69.1 |
| | 20–40 | 2.5 ± 0.4 | 1.8 | 1.1–7.0 | 1.5–3.4 | 74.1 |
| | 40–60 | 2.0 ± 0.3 | 1.3 | 0.6–5.8 | 1.3–2.7 | 66.5 |
| | 60–80 | 1.9 ± 0.4 | 1.6 | 0.5–6.3 | 1.1–2.7 | 82.5 |
| | 80–100 | 2.2 ± 0.6 | 2.3 | 0.6–9.5 | 1.0–3.4 | 104 |
| Овес на зеленую массу | 0–20 | 2.5 ± 0.4 | 1.7 | 0.9–6.5 | 1.6–3.3 | 66.3 |
| | 20–40 | 3.1 ± 0.6 | 2.7 | 0.9–10.0 | 1.7–4.4 | 86.8 |
| | 40–60 | 2.8 ± 0.4 | 1.7 | 0.9–6.7 | 1.9–3.7 | 60.3 |
| | 60–80 | 3.1 ± 0.6 | 2.4 | 0.9–8.6 | 1.8–4.3 | 78.3 |
| | 80–100 | 2.3 ± 0.4 | 1.6 | 0.9–6.5 | 1.5–3.1 | 68.7 |
| HCP ₀₅ (А) | | 0.71 | | | | |
| HCP ₀₅ (Б) | | 0.91 | | | | |
| HCP ₀₅ (АБ) | | 1.58 | | | | |

эффект оказало последствие навоза 40 т/га, достоверное увеличение содержания N-NO₃ отмечено как в слое 0–20 см, так и в слое 0–40 см. Влияние условий тепло- и влагообеспеченности на содержание нитратов, вне зависимости от вариантов внесения удобрений, возрастали в ряду: сумма осадков в (1-я–2-я декада мая) → средняя температура воздуха (1-я–2-я декада мая) → содержание продуктивной влаги в слое 0–40 см. Внесение удобрений снижало зависимость запасов N-NO₃ от температуры воздуха и осадков: если в контроле данные показатели составляли соответственно $r = 0.48 \pm 0.29$ и $r = 0.38 \pm 0.30$, то действие N40P40K40 и последствие навоза 40 т снижали их до $r = 0.25–0.11$ и $r = 0.17–0.12$. В отличие от первой культуры, количество продуктивной влаги оказало большее влияние на содержание нитратов: $r = 0.45 \pm 0.29$ в контроле и $r = 0.74 \pm 0.22$ в варианте с минеральным удобрением.

Третья культура севооборота – овес на зеленую массу – возделывали как однолетнюю траву и высевали в более поздние сроки – во 2-й декаде июня. По запасам продуктивной влаги 3-я культура была наименее обеспечена в сравнении с другими. Основная мотивация срока посева – использование региональных особенностей клима-

та для подведения наиболее критического периода развития овса от кушения до выхода в трубку под максимум летних осадков в середине лета и использование осадков второй половины лета для прироста вегетативной массы. Для предотвращения иссушения почвы основную и предпосевную обработки почвы проводили без отрыва от посева. Более длительный период нахождения необработанной почвы в состоянии биологической активности позволил накопить большее количество нитратов в почве относительно 2-й культуры, что приближалось по запасам к первой пшенице после пара. Основным фактором, влияющим на накопление нитратов, было количество осадков, выпавшее с мая по 2-ю декаду июля, влияние температур воздуха и продуктивной влаги было низким. Подобное связано с тем, что 2 этих фактора менее вариабельны, чем осадки. Зависимость содержания N-NO₃ от осадков составила в контроле $r = 0.62 \pm 0.26$, снижаясь в удобренных вариантах до $r = 0.46 \pm 0.29$ и $r = 0.34 \pm 0.31$ соответственно в органическом и минеральном вариантах.

На режим нитратного азота в слое 0–40 см влияет не только азотминерализующий потенциал, но и миграционные потоки легкорастворимых солей в почвенном профиле. Распределение нит-

ратов по горизонтам обусловлено их морфологическими свойствами и характером перемещения влаги. Почвы подвержены периодическому сквозному промачиванию при длительных обильных осадках, между тем восходящего потока легкорастворимых солей из-за щебнистости и опесчаненности грунта не происходит [28, 29]. Изучение дифференциальной порозности показало, что $\approx 70\%$ всех пор составляли крупные, диаметром от 3 мкм до 2 мм, что создавало благоприятные условия для аэрации, диффузного движения водяных паров [30]. В условиях сильной засухи, происходящей с 70%-ной вероятностью, активный влагооборот осадков происходил, в основном, в слое 0–20 см почвы. В годы с достаточным увлажнением изменялся и водный режим почв. При интенсивных осадках, обычно выпадающих во второй половине лета, влага способна сбрасываться до почвообразующих пород [30].

Изучение распределения нитратного азота в слое 0–100 см почвы проводили в отделе агрохимии БурятНИИСХ в 1996–2012 гг. в стационарном полевом опыте. Метеорологические условия этого периода были относительно благоприятными, из 17 лет исследования в 10-ти отмечена засуха различной интенсивности, а 7 лет были благоприятными по увлажнению. Дано статистическое обобщение выборки данных по содержанию нитратного азота в 1-метровом слое почвы в контрольном варианте под культурами зернопарового севооборота (табл. 6).

При посеве пшеницы содержание нитратного азота было максимальным в слое 0–20 см, достоверно снижалось до глубины 40–60 см и стабилизировалось на уровне 3.0 мг/кг. Под 2-й культурой (овес после пшеницы) характер снижения был не столь выражен, во всей почвенной толще содержалось приблизительно одно количество нитратов в пределах 1.9–2.5 мг/кг. Аналогичный характер распределения отмечен и под 3-й культурой (овес на зеленую массу), но при более высоких показателях (2.5–3.1 мг/кг). Разница содержания $N-NO_3$ от поверхности до глубины 90–100 см под первой культурой составила 2.9 мг/кг, под второй и третьей – 0.3 и 0.2 мг/кг. Изменение содержания нитратного азота, описываемого экспоненциальным трендом, позволило определить константу скорости его снижения с глубиной под различными культурами. Соответственно с этим распределением изменялись и константы скорости снижения содержания нитратов на каждые 10 см глубины; под пшеницей ($k = 0.172$), овсом ($k = 0.053$) и овсом на зеленую массу ($k = 0.017$). Характер распределения нитратов свидетельствовал о их миграции вниз по профилю, что было

обусловлено не только легким гранулометрическим составом почв, но и периодически их промывным водным режимом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, содержание нитратного азота в каштановой почве при посеве культур 4-польного зернопарового севооборота было очень низким, как в пахотном, так и подпахотном слоях и различалось в зависимости от культур севооборота и систем удобрения. Более высокое содержание нитратного азота отмечено при посеве пшеницы после пара и овса на зеленую массу, а минимальное – под второй культурой – овсом после пшеницы. Внесение удобрений существенно повышало нитратный пул почвы, при этом действие и последствие навоза 40 т/га было более ощутимо, чем полного минерального удобрения $N40P40K40$.

Метеорологические условия оказывали существенное влияние на накопление нитратов, для первой культуры севооборота были более значимы осадки в декаду посева, для второй культуры – продуктивная влага, для третьей – сумма осадков за май и первую половину июля. Влияние температур воздуха было менее значимо, чем условия увлажнения.

Динамика изменения содержания нитратного азота под вегетирующими растениями характеризовалась снижением от низкого содержания весной до следов к лету и незначительным возрастанием с конца августа до окончания периода биологической активности почв. В 1-метровом профиле в варианте без удобрений отмечено относительно равномерное распределение нитратов в почвенной толще.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамзиков Г.П., Лапухин Т.П., Уланов А.К. Эффективность систем удобрения в полевых севооборотах на каштановых почвах Забайкалья // Агрохимия. 2005. № 9. С. 24–30.
2. Будажапов Л.З. Биокинетический цикл азота в системе почва–удобрение–растение в условиях Забайкалья: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2009. 39 с.
3. Билтуев А.С., Лапухин Т.П., Будажапов Л.В. Климат, плодородие почв и продуктивность зерновых культур в аридных условиях Забайкалья: состояние и прогноз. Улан-Удэ: БурятГСХА, 2015. 141 с.
4. Абашеева Н.Е., Ракишина М.Ц. Об азотном режиме некоторых типов почв Селенгинского среднегорья Бурятской АССР // Физические и химические свойства почв БурАССР. Улан-Удэ, 1966. С. 79–85.

5. *Чимитдоржиева Г.Д., Меркушева М.Г., Абашеева Н.Е.* Аминокислотный состав растительности и почв Забайкалья // *Агрохимия*. 1989. № 1. С. 87–92.
6. *Нимаева С.Ш.* Микробиология криоридных почв. Новосибирск: Наука, 1992. 175 с.
7. *Борисова Т.С., Чимитдоржиева Г.Д.* Трансформация органических веществ в дефлированной каштановой почве при компостировании // *Агрохимия*. 2000. № 8. С. 25–30.
8. *Ревенский В.А.* Эффективность азотных удобрений на каштановых почвах Бурятии. Новосибирск: Наука, 1985. 149 с.
9. *Лапухин Т.П.* Система применения удобрений в полевых севооборотах на каштановых почвах сухой степи Забайкалья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Барнаул, 2000. 40 с.
10. *Карпинский Н.П., Францесон В.А.* О разработке вопросов диагностики применения удобрений с учетом результатов почвенно-агрохимических исследований // *Методические указания по Геосети опытов с удобрениями*. М., 1961. 20 с.
11. *Балданов Б.Ц.* Разнообразие почв бассейна реки Иволга, их морфогенетические характеристики и рациональное использование: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2013. 23 с.
12. *Обязов В.А.* Изменения современного климата и оценка их последствий для природных и природно-антропогенных систем Забайкалья: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Казань, 2014. 38 с.
13. *Уланова Е.С.* Засухи в СССР и их влияние на производство зерна // *Метеорол. и гидрология*. 1988. № 7. С. 127–134.
14. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
15. *Агрохимические методы исследования почв*. М.: Наука, 1975. 656 с.
16. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
17. *Кочергин А.Е., Остроумова О.А.* Динамика аммиачного и нитратного азота в прииртышском черноземе под посевами яровой пшеницы // *Почвоведение*. 1957. № 8. С. 86–92.
18. *Кочергин А.Е., Гамзиков Г.П.* Эффективность азотных удобрений в черноземной зоне Западной Сибири // *Агрохимия*. 1972. № 6. С. 3–11.
19. *Гамзиков Г.П.* Особенности действия азотных удобрений по почвенно-климатическим зонам Западной Сибири // *Научн. тр. СибНИИСХ*. 1971. № 2(17). С. 61–67.
20. *Гамзиков Г.П.* Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 266 с.
21. *Ермохин Ю.И.* Диагностика питания растений. Омск: ОмскГАУ, 1995. 208 с.
22. *Кочергин А.Е.* Эффективность удобрений на черноземах Западной Сибири // *Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири*. М., 1968. С. 316–336.
23. *Мальцев В.Т.* Установление оптимальных доз азотных удобрений под зерновые культуры в условиях Иркутской области // *Агрохимия*. 1995. № 12. С. 62–70.
24. *Кудьяров В.Н., Рынк И.Н.* Диагностика азотного питания яровой пшеницы в условиях Иркутской области // *Агрохимия*. 1967. № 4. С. 13–20.
25. *Гамзиков Г.П.* К вопросу о географии действия азотных удобрений в Западной Сибири // *Агрохимия*. 1975. № 10. С. 3–9.
26. *Гамзиков Г.П., Кочергин А.Е., Крупкин П.И.* Рекомендации по диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений. Новосибирск, 1983. 30 с.
27. *Мальцев В.Т.* Азотные удобрения в Приангарье. Новосибирск: РАСХН, СО, 2001. 272 с.
28. *Бохиев В.Б.* Теоретические основы и практические приемы почвозащитного земледелия в сухостепной зоне Бассейна озера Байкал: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Омск, 1993. 47 с.
29. *Куликов А.И., Дугаров В.И., Корсунов В.М.* Мерзлотные почвы, экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1997. 312 с.
30. *Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К., Хутакова С.В.* Агрофизические свойства и динамика влажности каштановой почвы в условиях засухи в сухостепной зоне Бурятии // *Вестн. НГАУ*. 2017. № 1. С. 77–83.

Nitrate Regime of Chestnut Soil of Buryatia when Applying Fertilizers

A. S. Biltuev^{a,#}, L. V. Budazhapov^a, and A. K. Ulanov^a

^a Buryat Agricultural Research Institute Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation
ul. Tretyakova 25"z", Ulan-Ude 670045, Republic of Buryatia, Russia

[#] E-mail: global@burniish.ru

The results of studies of the nitrate regime of chestnut soils under crops of grain – steam crop rotation depending on the use of different systems of fertilizers in vegetation–field and stationary field experiments are presented. The levels of nitrate content during sowing, dynamics of changes during the growing season of grain crops and distribution in the soil profile were established. The influence of heat and moisture factors on the content of nitrate nitrogen during the sowing period was determined.

Key words: chestnut soil, grain crops, fertilizers, nitrate content.