

МЕЛИОРАЦИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ

MELIORATION OF THE ANTHROPOGENIC SALTY SOILS IN OIL PRODUCTION REGIONS

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор Гилязов М.
Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия
E-mail: mingilyazov@yandex.ru

Abstract: It has been researched sources and mechanisms of breaking in soil fertility under refinery water. Soil fertility is lost due to rising the concentration of soil solution and super saturation soil absorbing complex of exchangeable sodium. Melioration technologies have been done in polluted with refinery water soils which provide gypsum or its alternatives applying with some works to keep water collection and water conservation in the soil (these are deep loosening, row tillage, soil slitting, furrowing, snow capture etc) or with a special fresh water washing of the soil. In midland conditions of Russian Federation it is possible to recover soil after refinery water in 2-3 years with the help of gypsum applying and water conservation agro technologies.

KEY WORDS: SOIL POLLUTION, REFINERY WATER, ANTHROPOGENIC SALINITY, SOIL ALKALINITY, SOIL PHOTOTOXICITY, MELIORATION, YIELD.

1. Введение

В Российской Федерации (РФ) нефтедобывающим компаниям земель отведено больше, чем другим горнодобывающим предприятиям [1, 6]. Однако в районах нефтедобычи почвенный покров разрушается и загрязняется не только на территориях, отведенных нефтяникам для постоянного или временного пользования, но и на рядом расположенных сельскохозяйственных и лесных угодьях, по которым проходят многочисленные подземные коммуникации и разбросаны различные нефтепромысловые объекты.

Почвы сельскохозяйственных и лесных угодий подвергаются, как механическому разрушению, так и загрязнению буровыми растворами, нефтью и нефтепромысловыми сточными водами (НСВ). Механическое разрушение почвенного покрова происходит при прокладке трубопроводов и обустройстве скважин, перемещении бурового оборудования, ремонтных работах трубопроводов и нефтепромысловых установок, перевозке грузов на буровые установки, особенно, в осенне-весенний период. Основными причинами загрязнения почв нефтедобывающих регионов являются аварийные порывы трубопроводов, поломки нефтепромыслового оборудования из-за чрезвычайно высокой коррозионной активности сырой нефти и нефтепромысловых сточных вод.

Нефтепромысловые сточные воды образуются при добыче нефти и включают в себя пластовые, то есть извлекаемые вместе с нефтью подземные воды, и производственные сточные воды, образующиеся в процессе сбора, транспортировки и первичной подготовки нефти. К производственным сточным водам относятся воды, сбрасываемые в канализацию от химических лабораторий, насосных и компрессорных станций, пробоотборных систем аппаратов и оборудования. Сюда же относятся дождевые стоки с канализируемых площадок технологического оборудования и обвалованных территорий нефтяных резервуаров. Среди различных источников загрязнения нефтепромысловые сточные воды по распространенности и масштабам негативного воздействия на окружающую среду превосходят другие техногенные потоки [1, 7], что стало побудительным мотивом наших исследований.

2. Методика и условия проведения исследования

Исследования проведены в зоне выщелоченных, типичных и оподзоленных черноземов Республики Татарстан, где расположены основные производственные мощности нефтедобывающей компании ОАО «Татнефть». Республика Татарстан расположена по среднему течению р. Волги и нижнему течению р. Камы, в степной и лесостепной зонах на восточной части Русской равнины. Географическое положение республики определяется координатами 53°58' - 56°39' с.ш. и

47°15' - 54° 18' в.д. Данная зона характеризуется умеренно-континентальным климатом с теплым летом и холодной зимой. Средняя годовая температура изменяется от 2 до 3⁰С выше нуля. Годовое количество осадков около 440 мм.

Исследования проводились с привлечением лабораторно-модельных, вегетационных и стационарных полевых опытов. Кроме того, в работе использованы материалы многочисленных экспедиционных обследований производственно-загрязненных участков, выполненных по заказу нефтедобывающих предприятий. Полевые эксперименты проводились в условиях мелкоделяночных опытов с площадью учетных делянок от 1 до 10 м² (общая площадь делянок 4...28 м²). Делянки площадью до 2 м² изолировались полиэтиленовой пленкой до глубины 1,5 м. Повторность полевых опытов четырехкратная. Одинарные нормы химических мелиорантов были рассчитаны для рассолонцевания 0-20, 0-30 и 0-40 слоев до уровня 5 или 10 % обменного натрия от емкости катионного обмена.

3. Результаты и дискуссия

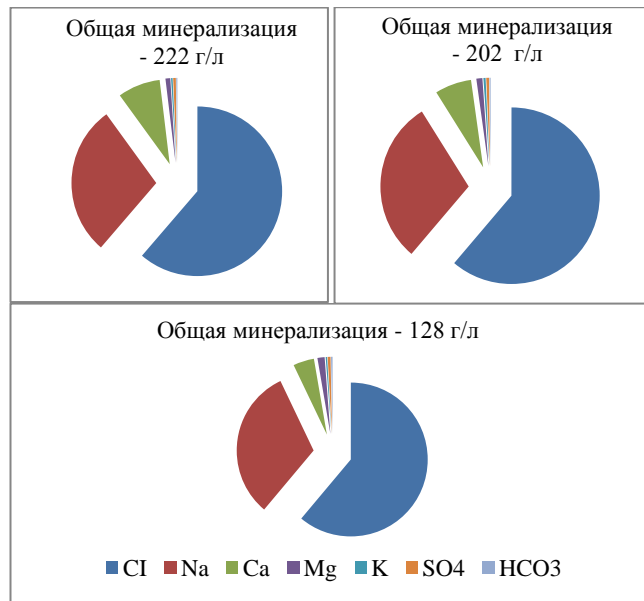
3.1. Химический состав нефтепромысловых сточных вод

Исследования показали, что состав нефтепромысловых сточных вод весьма сложен и зависит от многих факторов: геохимической характеристики месторождения; технологической схемы добычи и подготовки нефти; состава химических реагентов, используемых на всех этапах добычи и подготовки нефти; времени года и т. д. В первую очередь физико-химические свойства НСВ обуславливаются особенностями извлекаемых вместе с нефтью пластовых вод, так как 80-95 % объема НСВ составляют именно пластовые, то есть извлекаемые вместе с нефтью подземные воды. Основные компоненты НСВ - неорганические водорастворимые соли (NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Na₂SO₄, CaSO₄, MgSO₄, Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂, NaHCO₃, и другие), растворимые газы (H₂, CO₂, O₂, H₂S, газообразные углеводороды, N₂ и т. д.); эмульсионная и диспергированная нефть; многие классы водорастворенных органических веществ (фенолы, ароматические углеводороды, органические кислоты и др.) - переходят из пластовых вод.

Минерализация - главный показатель НСВ, определяющий характер и степень изменения свойств загрязненных почв. Она, прежде всего, зависит от минерализации пластовой воды, что в свою очередь обуславливается глубиной продуктивного пласта, из которого добывают нефть, геологических условий формирования нефтяных пластов, условий их разработки и технологии подготовки нефти. Для различных пластов и регионов РФ минерализация пластовых вод нефтяных месторождений в основном изменяется в пределах от 15 до 250 г/л. Так, пластовые воды продуктивных горизонтов Волго-Уральского нефтегазоносного района нередко имеют

минерализацию 100-250 г/л, а Западно-Сибирского - 15-45 г/л и согласно [8], относятся соответственно к рассолам и соленым. Большинство пластовых вод нефтяных месторождений являются хлоридно-натриевыми, и являются крепкими рассолами. Реже встречаются воды с минерализацией свыше 300-400 г/л, в которых преобладает кальций [5].

Исследования показали, что минерализация сточных вод нефтепромыслов ОАО «Татнефть» в зависимости от месторождения, технологической схемы и времени года колеблется в значительных пределах (фиг. 1).



Фиг. 1. Общая минерализация и ионный состав (% от суммы ионов) нефтепромысловых сточных вод ОАО

В анализированных нами пробах НСВ суммарное количество водорастворимых солей составило от 128 до 222 г/л. Независимо от уровня минерализации, соотношение ионов в нефтепромысловых сточных водах отличается известным постоянством. От общего содержания ионов (мг/л) на долю Cl приходится 60,5-61,3%, Na^+ – 28,8-36,9 %, Ca^{2+} - 1,6-8,1%, Mg^{2+} – 0,3-1,5%, SO_4^{2-} - 0,2-0,6%, K^+ - 0,3-0,4%, HCO_3^- - 0,1-0,3%. Такое соотношение ионов указывает на то, что на предприятиях ОАО «Татнефть» нефтепромысловые сточные воды характеризуются не только высокой минерализацией, но и значительным превышением Na^+ над Ca^{2+} и Mg^{2+} . Коэффициент потенциального поглощения натрия (SAR), определяемый по формуле Ричардса (1), в наших нефтепромысловых сточных водах колеблется в пределах 119-289.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

(1)

где Na, Ca, Mg - содержание соответственно натрия, кальция и магния в ммоль/л.

Следовательно, загрязнение почв НСВ может вызвать, как засоление (из-за высокой минерализации), так и солонцевание, ибо при величине $\text{SAR} > 26$ опасность солонцевания почв считается очень высокой [2].

В составе НСВ обнаруживается также некоторое количество растворимых газов, нефтяных частиц, поверхностно-активных веществ, взвешенных частиц, ряд микро- и ультрамикрорезультатов (J, B, V, Cr, Co, Zn, Mo, Ag, Hg и т. д.). Содержание эмульгированной нефти в составе анализированных НСВ варьировало от 46 до 385 мг/л, что в случае однократного загрязнения почвы особой опасности, видимо, не представляет. Несложные расчеты показывают, что при достижении засоленности метрового слоя 0,8-1,3 %

(разлив около 100 л НСВ на 1 м²) содержание нефти в пределах пахотного слоя составит около 15-130 мг/кг, что, многократно ниже допустимого уровня (1000 мг/кг почвы) [4]. Следовательно, воздействие нефти на плодородие загрязненной НСВ почвы не будет представлять серьезной опасности.

3.2. Влияние НСВ на свойства почвы

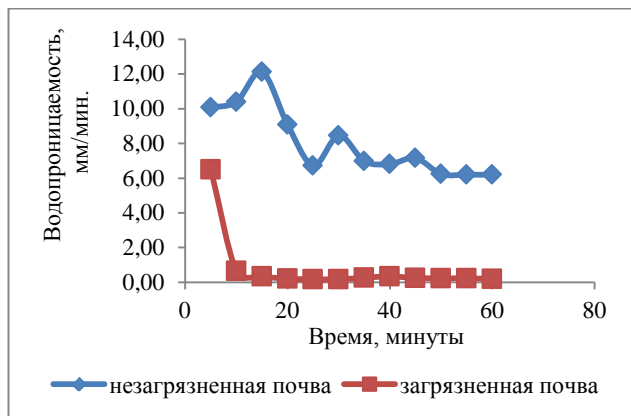
Под влиянием НСВ изменяются многие свойства почв. Обнаруживались изменения в нитрифицирующей способности, содержании аммиачного азота, подвижного фосфора, обменного калия, величины емкости поглощения и кислотности почвы, хотя размеры таких сдвигов, как правило, были непропорциональны степени загрязнения почвы.

В отличие от этих показателей содержание сухого остатка водной вытяжки и обменного натрия в почве тесно коррелировалось с уровнем загрязнения почвы НСВ. Так, если содержание сухого остатка водной вытяжки в метровом слое фоновых (незагрязненных) почв составляло 0,07-0,11 %, то в производственно-загрязненных почвах наблюдалось его увеличение от 0,32 до 4,59 %. Согласно известной классификации, разработанной для природных засоленных почв [3], обследованные участки могут быть отнесены к средне- и сильнозасоленным почвам и солончакам, а по характеру распределения солей по профилю - к глубокопрофильным солончакам. Анализ качественного состава водных вытяжек выщелоченного и типичного черноземов показал, что в загрязненных почвах особенно заметно повышается содержание ионов хлора и натрия. На их долю приходится 45-98 % от суммы всех катионов или анионов. Абсолютное содержание ионов кальция и магния, занимающих на незагрязненных почвах основную долю катионов, иногда увеличивалось в несколько раз, однако их удельный вес в составе катионов резко снизился.

Исследуемые почвы по составу анионов водной вытяжки могут быть отнесены к хлоридному и сульфатно-хлоридному типу засоления, а по составу катионов - к натриевому, магниевому-кальциевому и кальциевому-натриевому.

Под влиянием НСВ многократно увеличивается содержание обменного натрия. В некоторых загрязненных участках с глубиной содержание его постепенно уменьшалось, в то время как на других участках наблюдалось обратное или содержание натрия было более или менее равномерным по всему метровому слою. Поглощение почвой натрия сопровождалось вытеснением кальция и магния, на долю которых приходится основная часть обменных катионов на незагрязненной почве. Статистическая обработка показала наличие достаточно тесной криволинейной обратной корреляции между содержанием кальция и магния, с одной стороны, и обменного натрия, с другой ($\eta = -0,88 \pm 0,08$). В результате насыщения почвенно-поглощающего комплекса (ППК) натрием возросла степень солонцеватости загрязненных почв. Согласно действующей классификации [3], почвы обследованных территорий можно было охарактеризовать как слабосолонцеватая, солонцеватая и солонцы. Загрязнение почв НСВ приводило также к ряду неблагоприятных изменений в агрофизических свойствах: повысилась глыбистость почвы, уменьшилось содержание агрономически ценных агрегатов размером 0,25-3 мм, снизился коэффициент структурности. Разрушение структуры привело, в свою очередь, к снижению водопроницаемости почвы (фиг. 2).

Таким образом, в загрязненных НСВ почвах, прежде всего, происходило чрезмерное повышение концентрации почвенного раствора и избыточное насыщение почвенно-поглощающего комплекса обменным натрием, то есть одновременное засоление и солонцевание. Следовательно, загрязненные нефтепромысловыми сточными водами почвы вполне справедливо следует называть техногенными солонцами-солончаками.

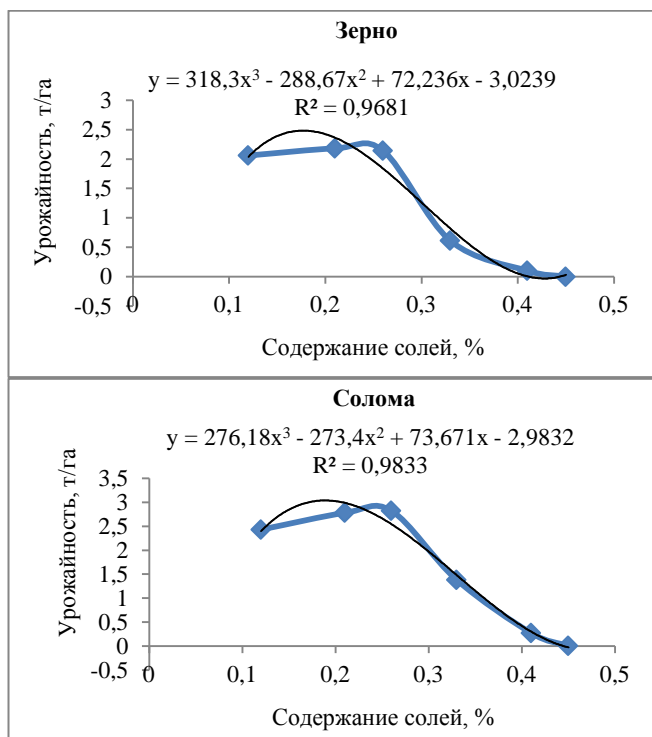


Фиг. 2. Влияние загрязнения выщелоченного чернозема нефтепромысловой сточной водой на его водопроницаемость

3.3. Влияние нефтепромысловых сточных вод на продуктивность сельскохозяйственных культур

При загрязнении почвы нефтепромысловыми сточными водами верхний гумусовый слой не удаляется и не погребается материнской породой, существенно не нарушается рельеф местности, но почва, пропитанная НСВ, становится токсичной для растений.

Обобщение результатов учета урожайности различных сельскохозяйственных культур на техногенно засоленных почвах позволило установить тесную обратную криволинейную корреляция ($\eta = -0,86 \div -0,98$) между уровнем загрязнения черноземных почв нефтепромысловыми сточными водами, с одной стороны, и урожайями сельскохозяйственных культур, с другой. На фиг. 3 в качестве примера показана зависимость урожайности зерна и соломы озимой ржи от весеннего содержания водорастворимых солей в пахотном слое выщелоченного чернозема.



Фиг. 3. Корреляция урожайности озимой ржи от весеннего содержания водорастворимых солей в пахотном слое выщелоченного чернозема

Для описания данной зависимости лучше подходила полиномиальное уравнение третьей степени. Полная гибель озимой ржи наблюдалась при содержании в пахотном слое

почвы 0,45 % водорастворимых солей.

Под действием нефтепромысловых сточных вод продуктивность генеративных органов снижается сильнее, чем вегетативных, в результате чего у зерновых культур расширяется соотношение зерна к соломе. Опережающее угнетение генеративных органов усиливается по мере возрастания степени техногенного засоления почвы.

Таким образом, в результате загрязнения почв нефтепромысловыми сточными водами происходит резкое снижение продуктивности сельскохозяйственных культур или их полная гибель, причем это может продолжаться в течение многих лет.

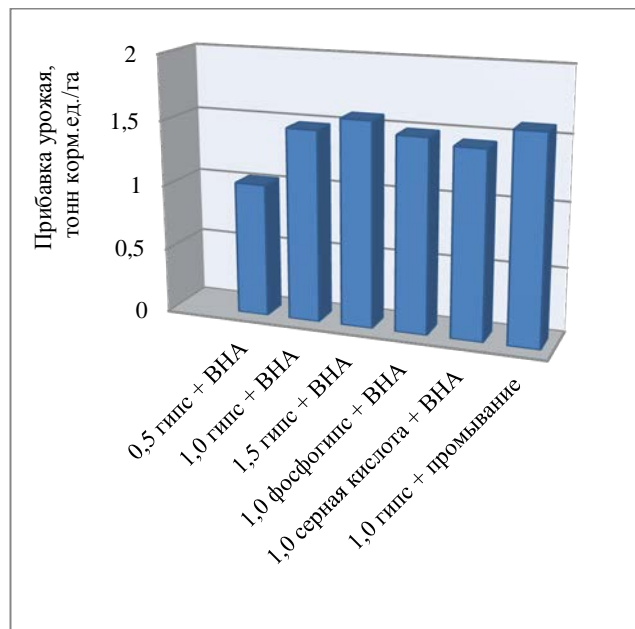
3.4. Мелиорация почв, загрязненных нефтепромысловыми сточными водами

Исследования выявили, что для восстановления плодородия загрязненных НСВ почв, в первую очередь, необходимо их рассолонцевание и рассоление. В качестве возможных приемов рассоления были испытаны различные приемы влагонакопительной агротехники (глубокая вспашка, обвалование, щелевание, бороздование, лункование и снегозадержание) и промывание пресной водой. Для рассолонцевания, то есть вытеснения избытка обменного натрия из почвенно-поглощающего комплекса, использовали сыромолотый гипс, фосфогипс и серную кислоту. Одинарные (полные) нормы химических мелиорантов были рассчитаны по уравнениям К.К. Гедройца и И.Н. Антипова-Каратаева. Кроме одинарных, были испытаны также половинные, полуторные и двойные нормы химических мелиорантов.

Химические мелиоранты заметно улучшили агрофизические свойства загрязненных НСВ почв: снизилась глыбистость, увеличилось количество агрономически ценных водопрочных агрегатов (0,25...3мм), повысилась водопроницаемость. Гипсование и кислование в сочетании с промыванием способствовали повышению в загрязненном НСВ черноземе выщелоченном подвижных форм NPK, снижению легкорастворимых соединений некоторых микроэлементов и существенно не уменьшили содержание гумуса в 0-60 см слое.

Рассолонцовывающее действие однократного внесения химических мелиорантов проявилось в течение всего срока наблюдения за динамикой обменного натрия в почве (10 лет). Лучший мелиоративный и экономический эффект обеспечили одинарные (полные) нормы гипса или его заменителей, рассчитанные по уравнению И.Н. Антипова-Каратаева. Установлено, что в условиях исследуемого региона мощность мелиорируемого слоя должна быть равной 30 см, а допустимая доля обменного натрия в ППК равной 0,1. Одинарная (полная) норма гипса, рассчитанная по уравнению И.Н. Антипова-Каратаева, выгодно отличалась от половинной и полуторной норм: первая явно уступала полной (среднегодовой выход кормовых единиц был на 0,45 т/га меньше, чем от полной), а повышенная норма дала незначительное увеличение выхода кормовых единиц (фиг.4). Гипсование (в том числе используя фосфогипс) и кислование загрязненных НСВ черноземов в сочетании с влагонакопительной агротехникой (ВНА) были примерно равноценными и обеспечили получение урожая сельскохозяйственных культур на уровне 85-91% к контролю (незагрязненная почва) в течение не менее 12 лет.

Прибавка урожая (в кормовых единицах) от промывания пресной водой загипсованной почвы была на 0,11 т/га больше, чем от влагонакопительной агротехники, однако промывание оказалось экономически малоэффективным. На наш взгляд, промывание сильнозагрязненных НСВ почв может быть оправданным лишь при сочетании с химической мелиорацией и сооружении искусственного дренажа.



Фиг. 4. Среднегодовые прибавки урожая за 12 лет от приемов мелиорации типичного чернозема, загрязненного нефтепромысловой сточной водой:

0,5; 1,0 и 1,5 – соответственно половинная, полная и полуполная нормы химических мелиорантов;
ВНА – влагонакопительная агротехника.

4. Заключение

Отличительной особенностью изученных нефтепромысловых сточных вод является их чрезвычайно высокая минерализация (128-222 г/л) и преобладание среди катионов и анионов соответственно натрия и хлора. Загрязнение почв нефтепромысловыми сточными водами, в первую очередь, вызывает засоление и солонцеватость почв, и как следствие, изменение агрохимических и агрофизических свойств. Загрязненные нефтепромысловыми сточными водами почвы по типу засоления, чаще всего, относятся к хлоридным, хлоридно-сульфатным по составу анионов и натриевым, магниевым-кальциевым, кальциево-натриевым по составу катионов. По характеру распределения солей загрязненные НСВ почвы, как правило, относятся к глубокопрофильным солончакам. Среди агрофизических свойств особенно заметно ухудшаются водно-физические свойства: уменьшаются пористость, количество агрономически ценных макро- и микроагрегатов; возрастают плотность, количество недоступной влаги, дисперсность и глыбистость. Ухудшение структурности загрязненных почв, в свою очередь, резко снижает их водопроницаемость.

Загрязнение почв нефтепромысловыми сточными водами приводит к сильному угнетению сельскохозяйственных культур, вплоть до полной их гибели. Обнаружена тесная обратная криволинейная корреляция между уровнем загрязнения черноземных почв нефтепромысловыми сточными водами, с одной стороны, и урожаями сельскохозяйственных культур, с другой ($R^2=0,93\pm 0,99$). Под действием НСВ

продуктивность генеративных органов снижается сильнее, чем вегетативных, в результате чего у зерновых культур расширяется соотношение зерно: солома.

Для рекультивации техногенно засоленных почв нефтедобывающих районов необходимо их рассолонцевание и рассоление. Радикальным приемом рассолонцевания техногенно засоленных почв служит химическая мелиорация, то есть внесение в почву кальцийсодержащих или кислотных веществ. Наиболее доступным и эффективным химическим мелиорантом следует считать сыромолотый гипс. Близкое к гипсу действие проявили фосфогипс и серная кислота. Нормы гипса или его заменителей, необходимые для рассолонцевания техногенно засоленных почв, следует рассчитывать по уравнению И.Н. Антипова-Каратаева. При этом мощность мелиорируемого слоя следует принимать равной 30 см, а допустимое содержание обменного натрия - 0,1. В условиях средней полосы Российской Федерации наиболее дешевым и достаточно эффективным приемом рассоления техногенно засоленных почв является выполнение комплекса влагонакопительной агротехники (глубокая вспашка, обвалование, лункование, щелевание, бороздование и снегозадержание). Восстановление плодородия загрязненных НСВ почв с помощью химической мелиорации и влагонакопительной агротехники достигается за 2-3 года.

Гипсование и кислование техногенно засоленных почв в сочетании с влагонакопительной агротехникой обеспечили получение урожаев сельскохозяйственных культур на уровне 86-92 % к контролю (незагрязненная почва) в течение всего срока наблюдения (12 лет).

5. Литература

1. Гилязов, М. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. - Казань: Фэн, 2003. - 228 с. (Гилязов М., Гайсин И.)
2. Кирюшин, В. Агрономическое почвоведение. - М.: КолосС, 2010. - 687 с. (Кирюшин В.)
3. Классификация и диагностика почв СССР. - М.: Колос, 1977. - 233 с.
4. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель, утвержденных Роскомземом (28.12.1994), Минсельхозпродом России (26.01.1995), Минприроды России (15.02.1995).
5. Пиковский, Ю. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах. В сборнике научных трудов: Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. - М.: Наука, 1988. - С. 7-22 (Пиковский Ю.)
6. Сова, В. О рекультивации земель на предприятиях Миннефтепрома. - Нефтяное хозяйство, № 9, 1977. - С. 16-19 (Сова В.)
7. Солнцева, Н. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. - М.: Изд-во МГУ, 1998. - 376 с. (Солнцева Н.)
8. Сухарев, Г. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. - М: Недра, 1971. - 304 с. (Сухарев Г.)