

Ольга Анатольевна ЗИНОВЬЕВА —
аспирант кафедры социально-экономической
географии и природопользования
Zinoveva_85@mail.ru;

Виталий Юрьевич ХОРОШАВИН —
доцент кафедры физической географии и экологии,
кандидат географических наук —
Тюменский государственный университет

УДК 504:551.2(571.12)

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ УРЕНГОЙСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

THE ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF A SOIL COVER ON THE TERRITORY OF URENGOY OIL-AND-GAS DEPOSIT

АННОТАЦИЯ. В настоящей работе рассмотрены некоторые аспекты трансформации качества почвы на территории нефтегазодобычи. Выявлены физико-географические условия формирования почвенного покрова Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (УНГКМ). Проведен анализ существующих методик оценки качества почв с некоторых позиций: с точки зрения устойчивости почв к антропогенному воздействию; с точки зрения пространственного распределения загрязнителей и объемов загрязнения почв. Определена устойчивость почвенного покрова ключевого участка исследования (Ен-Яхинская площадь) к антропогенному воздействию.

SUMMARY. In the present work some aspects of a soil transformation on the territories of oil and gas extractions are considered. The physical features of a soil cover formation on the territory of Urengoy oil-and-gas deposit are revealed. The existing techniques of soil quality estimation from several positions are analysed: from the point of view of soil stability to anthropogenic influence; from the point of view of pollutants areal distribution and volumes of soil pollution. The stability of a soil cover on the key site (En-Yahinskiy area) to anthropogenic influence is determined.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Почвенный покров, устойчивость, антропогенное воздействие, трансформация, оценка

KEY WORDS. Soil cover, stability, anthropogenic influence, transformation, estimation

Разведка и освоение нефтегазоконденсатных месторождений на Севере Тюменской области неизбежно приводит к загрязнению окружающей среды (ОС) и изменению тундровых экосистем. Загрязнение природных вод и почв нефтью и нефтепродуктами — один из самых распространенных в настоящее время видов антропогенного воздействия. Подсчитано, что в ОС поступает около 2% добытой нефти [1].

Почвы являются особенно чувствительными к антропогенным воздействиям в условиях Крайнего Севера. С целью нормирования антропогенных нагрузок возникает проблема определения качественных показателей и критериев устойчивости и степени деградации почв.

Формирование качества почв Уренгойского месторождения изначально обусловлено специфическими физико-географическими особенностями территории. Совместное действие факторов, неблагоприятных для формирования почв и почвенного плодородия (незначительные суммы активных температур, на-

личие мерзлоты, плоский рельеф, переувлажнение, заболачивание, оглеение, замедленный биогенный круговорот), предопределили низкую самоочистительную способность. Этот перечень дополняют слабая водопроницаемость, недостаток кислорода, азота и фосфора, незначительная гумусность и, соответственно, низкая буферность. В итоге сформированы почвы с минимальной устойчивостью и низкой скоростью восстановления.

Тем временем, почва выступает буфером между источником загрязнения и грунтовыми водами. Природная буферность утрачивается при особо интенсивных нагрузках и происходит трансформация их первичных природных качеств [2].

Буферность рассматривается в качестве ведущего фактора устойчивости, которая в общем виде может быть определена как свойство сохранять свою структуру и характер функционирования при изменяющихся условиях его среды или после отклоняющего воздействия внешних и внутренних факторов, природных и антропогенных [3].

С целью определения показателей трансформации качества почв был проведен анализ существующих методик с позиций их применимости. На сегодняшний день нет единой универсальной методики оценки трансформации почв. Существуют лишь отдельные методы и предложения оценки качества почв на основе определенных показателей и в зависимости от природно-антропогенных условий ландшафта. Наиболее достижимы методы оценки качества почв в аспектах их устойчивости к антропогенному воздействию и пространственному распределению загрязнителей.

Степень геохимической устойчивости экосистем к углеводородному загрязнению определяется следующими факторами:

- скоростью химических превращений органических и минеральных веществ в почвах, водах, атмосфере;
- характером химических и связанных с ними фазовых превращений веществ в зависимости от типа геохимических барьеров;
- интенсивностью выноса веществ за пределы данной экосистемы, рассеяния их с поверхностным и подземным стоками и воздушными потоками [4].

При оценке качества почвогрунтов в контексте устойчивости за основу была выбрана методика, разработанная Снакиным В.В., Алябиной И.О., Кречетовым П.П. [5], наиболее приемлемая для условий формирования почв региона. Доработка методики связана с необходимостью дифференцированного учета устойчивости в геосистемах различного иерархического уровня и сложности (принцип иерархичности устойчивости М.А. Глазовской) [6]. Итоговый комплекс наиболее существенных параметров функционирования почвы для оценки устойчивости к антропогенному воздействию представлен в табл. 1.

На основе анализа показателей по их выраженности принята пятибалльная шкала оценки устойчивости каждого из параметров почв (от 0 до 4 баллов). Шкала баллов представляет собой количественную классификацию. Суммарная оценка устойчивости почвенного покрова определяется путем сложения балльной оценки всех показателей. В соответствии со шкалой, максимально возможный балл, характеризующий наибольшую устойчивость — 28, минимальный — 0. Но как максимальных, так и минимальных баллов при оценке устойчивости быть не может, так как нет абсолютно устойчивых или неустойчивых почв.

Разработана следующая градация устойчивости почв с учетом масштаба почвенного картографирования (1:100 000): 9-11 баллов — неустойчивые почвы; 12-14 — малоустойчивые; 15-17 — среднеустойчивые; 18-20 — относительно устойчивые; 21-23 — устойчивые; >23 — наиболее устойчивые.

Таблица 1

**Комплекс параметров оценки устойчивости почв
(по Снакину В.В. [5])**

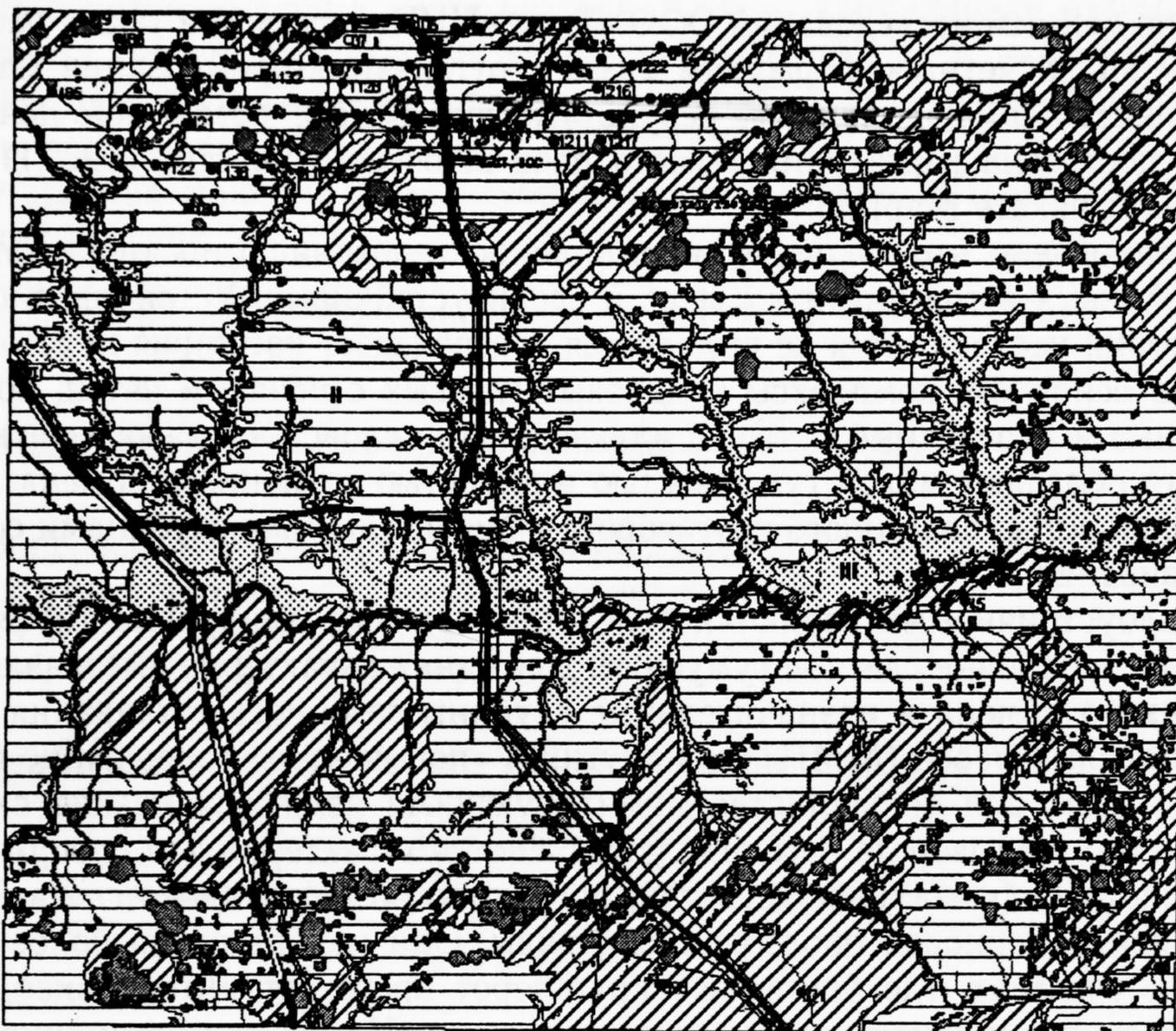
№ п/п	Параметр	Оценка, баллы				
		0	1	2	3	4
1	Емкость катионного обмена, мг-экв/100 г	<10	10-20	21-30	31-40	>40
2	Мощность гумусового горизонта, см	<3	3-9	10-25	26-80	>80
3	Тип водного режима почвы	Водозастойный	Мерзлотный	Периодически промывной	Промывной с периодическим грунтовым переувлажнением	Промывной
4	Положение почвы в ландшафте	Аккумулятивное (А)	Трансаккумулятивное (ТА)	Трансэлювильно-аккумулятивное (ТЭА)	Трансэлювильное (ТЭ)	Элювильное (Э)
5	Крутизна склона, град (песок/глина)	>24/39	24/39-11/16	12/17-6,1	6-2,5	<2,5
6	Интенсивность биогенного круговорота (отношение мортмассы к ежегодному приросту)	>15	15-6,1	6-2,6	2,5-1	<1
7	Глубина сезонного оттаивания почв, м	>1,9	1,9-1,5	1,4-1	0,9-0,5	< 0,5

Таблица 2

Устойчивость почв ключевого участка

Неустойчивые	Малоустойчивые	Среднеустойчивые
Тундровая глеевая типичная	Тундровая глеевая	Поверхностно-
Комплекс тундровой глеевой	перегнойная	подзолистая
типичной с почвой пятна глеевой	Комплекс тундровой	элювиально-глееватая
Комплекс тундровой глеевой	глеевой гумусной с	Поверхностно-
типичной с тундровой глеевой	почвой пятна глееватой	элювиально-глеевая
перегнойной	Тундровая глеевая	Аллювиальная дерновая
Комплекс тундровой глеевой пере-	торфянистая	оподзоленная
гнойной с почвой пятна глеевой	Болотная верховая	
Болотная переходная торфянисто-	торфянисто-глеевая	
глеевая	Болотная верховая	
Болотная переходная торфяная	торфяно-глеевая	
Болотная низинная торфянисто-	Комплекс болотных вер-	
глеевая	ховых торфянисто-глее-	
Аллювиальная болотная иловато-	вой с торфяно-глеевой	
торфянисто-глеевая	Аллювиальная дерново-	
Аллювиальная дерновая слоистая	глеевая	

В соответствии с разработанной шкалой балльных оценок почв проведена интегральная оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию для ключевого участка исследования (Ен-Яхинская площадь УНГКМ). Результаты представлены в табл. 2.



МАСШТАБ 1:100 000

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | | | |
|--|----------------------|--|---------------------------------------|
| | ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА | | КУСТ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН |
| | АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА | | КУСТ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН |
| | ГРУНТОВАЯ ДОРОГА | | ПОГЛОЩАЮЩИЕ СКВАЖИНЫ |
| | ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ | | УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА |
| | ГАЗОПРОВОДЫ | | ВАХТОВЫЙ ПОСЕЛОК |
| | КОНДЕНСАТОПРОВОДЫ | | |

КАТЕГОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ

- | | |
|--|------------------|
| | НЕУСТОЙЧИВЫЕ |
| | МАЛОУСТОЙЧИВЫЕ |
| | СРЕДНЕУСТОЙЧИВЫЕ |

Рис. 1. Карта устойчивости почв ключевого участка (составлена авторами)

Основные параметры и характеристики компонентов среды, использованные для расчетов, получены в результате анализа фондовых материалов и данных научно-исследовательских организаций, учебной и научной литературы. В част-

ности, показатели ежегодного прироста и опада — по данным Базилевич Н.И. [7], емкость катионного обмена и мощность гумусового горизонта — по данным Хренова В.Я. [8], Глазовской М.А. [2]; основные типы водного режима выделены — по классификациям Роде А.А., Глазовской М.А и Фридланда В.М. [9]. Глубина сезонного оттаивания для территории Ен-Яхинского месторождения взята по данным исследований ООО «ТюменНИИгипрогаз», а также рассчитывалась по расчетным формулам глубин оттаивания-промерзания Стефана-Джуликиса. По полученным результатам на основе созданной почвенной карты построена карта устойчивости почв ключевого участка (рис. 1) в программном пакете MapInfo.

Установлено, что все почвы территории исследования относятся к категории неустойчивых в той или иной мере и среднеустойчивых. Устойчивых почв на территории исследования не выделяется. Преобладает категория неустойчивых почв (в основном, комплексы тундровых глеевых с почвами пятен, болотные низинные и переходные, а также аллювиальные слоистые слаборазвитые), так как они обладают малой гумусностью и емкостью катионного обмена, низкой интенсивностью биогенного круговорота и значительными глубинами сезонного оттаивания.

Малоустойчивыми являются болотные верховые, тундровые торфянисто-глеевые, тундровые глеевые гумусные. Для одних характерна высокая емкость катионного обмена и незначительные глубины сезонного оттаивания многолетнемерзлых пород (ММП), для других — повышенное содержание гумуса, но при этом для большинства лимитирующими являются низкие скорости биогенного круговорота. Средняя устойчивость характерна для поверхностно-подзолистой элювиально-глееватой, поверхностно-элювиально-глеевой и аллювиальной дерновой оподзоленной почвы. Они находятся на более дренируемых участках, где биогенный круговорот протекает интенсивнее, имеют значительную мощность гумусового горизонта. Но все же ограничивающим фактором являются малые значения емкости катионного обмена и глубина сезонного протаивания.

Для оценки величин и объемов деградации почв использовалась методика прогнозирования объема экологического загрязнения почв нефтепродуктами (НП) при их проливе на поверхность почвогрунта, предложенная рядом авторов [10]. Оценка объемов загрязнения почвогрунтов НП по данной методике предполагает использование модели грунта как пористого вещества, подчиняющегося закону распространения жидкости в пористой среде (Закон Дарси).

Скорость распространения НП определялась по формуле:

$$V_i = \frac{\rho \mu_B}{\mu \rho_B} C_i,$$

где V_i — скорость распространения НП в i слое, м/с; ρ — плотность НП, кг/м³; μ — вязкость НП, кг/(мис); μ_B — вязкость воды, кг/(мис); ρ_B — плотность воды; C_i — водопроницаемость i слоя, м/с.

Площадь растекания НП по поверхности грунтовых слоев:

$$S_i = \frac{V_i \cdot S}{V_i},$$

где S_i — площадь растекания НП по поверхности i грунтового слоя, м²; V_i — скорость растекания НП по поверхностному слою, м/с.

Адсорбированная масса НП грунтовым слоем рассчитана по формуле:

$$M_i = l_i \cdot S_i \cdot \rho_B \cdot n_i \cdot k_i \frac{\mu^2 \cdot \sigma_B}{\sigma \cdot \mu_B \cdot 10^4},$$

где M — масса пролитого НП, кг; l — мощность слоя грунта, м; n — пористость грунтового слоя в месте разлива, %; k — капиллярная влагоемкость слоя грунта (объем пор, занятых капиллярной водой), %; σ — коэффициент поверхностного натяжения НП, кг/с²; σ_B — коэффициент поверхностного натяжения воды, кг/с².

Вычисление максимальной глубины проникновения НП в грунте проводятся для условий:

1. Масса пролитого НП меньше или равна: $M \leq \sum_i^N M_i,$

2. Масса пролитого НП больше или равна $M \geq \sum_i^N M_i.$

Для первого случая определяется номер слоя (I), на котором вся масса НП адсорбируется грунтом, т.е. I удовлетворяет условию

$$\sum_{i=1}^{I-1} M_i \leq M \leq \sum_{i=1}^I M_i, \text{ где } I \leq N.$$

Тогда глубина проникновения НП определяется как

$$H_{\max} = \sum_{i=1}^{I-1} l_i + \frac{10000 \cdot (M - \sum_{i=1}^{I-1} M_i)}{S_B \cdot \rho_i \cdot n_i \cdot k_i \frac{\mu^2 \cdot \sigma_B}{\sigma \cdot \mu_B}} 10000 \cdot (M - \sum_{i=1}^{I-1} M_i).$$

В этом случае НП не дойдет до грунтовых вод.

Для второго случая масса НП, попавшего в грунтовые воды, составляет

$$M_{ГВ} = M - \sum_{i=1}^N M_i.$$

Оценка последствий вероятностного экологического загрязнения почвогрунта производилась для условий ключевого участка. Для расчетов использовались данные о грунтах, грунтовых водах на месте вероятностного пролива загрязнителя, а также его свойств (см. табл. 3-7). Некоторые характеристики расчетных параметров приводятся по данным отчетов ООО «ТюменНИИгипрогаз», а также литературных и справочных материалов [11], [12], [1], [7], [8]. Загрязнителем в данных условиях является товарная нефть. Предполагаемое загрязнение происходит в результате единичных залповых разливов нефти. За основу берется разлив нефти массой 1000 кг на площади 10 м². Результаты расчетов приведены в табл. 4-7.

Таблица 3

Общие расчетные параметры для условий ключевого участка

Свойства нефти	Свойства воды	Стандартные условия
Плотность нефти (ρ_n) — 820 кг/м ³ Вязкость нефти (μ_n) — 20·10 ⁻³ кг/м·с Коэффициент поверхностного натяжения нефтепродуктов (σ_n) — 2,6·10 ⁻² кг/с ²	Плотность воды (ρ_B) — 998 кг/м ³ Вязкость воды (μ_B) — 1·10 ⁻³ кг/м·с Коэффициент поверхностного натяжения воды (σ_B) — 7,3·10 ⁻² кг/с ²	Площадь разлива нефти (S) — 10 м ² Масса пролитой нефти (m) — 1000 кг

Таблица 4

**Расчетные параметры и результаты расчетов
для тундровой глеевой почвы**

ПГ*	$l_i, \text{ м}^*$	$n, \%$ *	$k, \%$ *	$C_i, \text{ м/с}^*$	$V_i, \text{ м/с}^*$	$S_i, \text{ м}^*$	$M_i, \text{ кг}^*$	$H_{\text{max}}, \text{ м}^*$
A ₁	0,05	47	25	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$0,24 \cdot 10^{-6}$	10	65,8	0,26
G ₁	0,2	40	18,5	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$0,05 \cdot 10^{-6}$	48	796,2	
G ₂	0,2	32,5	14,55	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$0,02 \cdot 10^{-6}$	120	1272	

* Примечание: ПГ — почвенные горизонты, l_i — мощность горизонта в метрах, n — пористость горизонта в %, k — капиллярная влагоемкость горизонта почв в %, C_i — водопроницаемость почвенного горизонта в %, V_i — скорость распространения нефти в почвенном горизонте в метрах в секунду, S_i — площадь растекания нефти по поверхности грунтового слоя в метрах, M_i — адсорбированная масса нефти грунтовым слоем в килограммах, H_{max} — максимальная глубина проникновения нефти в почвогрунт в метрах.

Таблица 5

**Расчетные параметры и результаты расчетов
для болотной верховой почвы**

ПГ	$l_i, \text{ м}$	$n, \%$	$k, \%$	$C_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ м/с}$	$S_i, \text{ м}$	$M_i, \text{ кг}$	$H_{\text{max}}, \text{ м}$
T ₁	0,2	80	45	$28,9 \cdot 10^{-6}$	$1,18 \cdot 10^{-6}$	10	807	0,23
T ₁	0,1	60	35	$11,6 \cdot 10^{-6}$	$0,48 \cdot 10^{-6}$	24,8	583,7	
G	0,15	40	25	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$0,05 \cdot 10^{-6}$	241	4052	

Таблица 6

**Расчетные параметры и результаты расчетов
для поверхностно-подзолистой почвы**

ПГ	$l_i, \text{ м}$	$n, \%$	$k, \%$	$C_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ м/с}$	$S_i, \text{ м}$	$M_i, \text{ кг}$	$H_{\text{max}}, \text{ м}$
A ₁	0,11	52	27	$6,9 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-6}$	10	157,4	0,32
A _{2g}	0,1	25	23	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$0,4 \cdot 10^{-6}$	7,5	48,3	
Bt _g	0,3	40	30	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$0,05 \cdot 10^{-6}$	60	2421	
Bh _{Fe} ^g	0,35	35	32	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$0,02 \cdot 10^{-6}$	150	6590,6	

Таблица 7

**Расчетные параметры и результаты расчетов
для аллювиальной дерновой почвы**

ПГ	$l_i, \text{ м}$	$n, \%$	$k, \%$	$C_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ м/с}$	$S_i, \text{ м}$	$M_i, \text{ кг}$	$H_{\text{max}}, \text{ м}$
A ₁	0,1	55	35	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$0,33 \cdot 10^{-6}$	10	215,8	0,4
Bs	0,3	40	25	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$0,14 \cdot 10^{-6}$	23,6	793,5	
C _g /D _g	0,55	30	20	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$0,05 \cdot 10^{-6}$	66	2441,2	

Результаты расчетов максимальных глубин проникновения нефти: аллювиальные дерновые почвы — 0,4 м; поверхностно-подзолистые почвы — 0,32 м; тундровые глеевые почвы — 0,26 м; болотные верховые почвы — 0,23 м.

Максимальная глубина проникновения нефти характерна для аллювиальной дерновой и поверхностно-подзолистой почвы, на меньшую глубину нефть проникает в тундровых глеевых и болотных почвах. Поверхностно-подзолистые и аллювиальные дерновые почвы более устойчивы к нефтяному загрязнению, т.к. их свойства способствуют самоочищению и выносу нефтепродуктов из почвенного профиля. Тундровые глеевые и болотные почвы обладают специфическими механическими и физико-химическими свойствами, определяющими их неустойчивость и значительную подверженность загрязнению нефтепродуктами, которые аккумулируются в верхних горизонтах и очень медленно разлагаются.

Полученные результаты свидетельствуют о существенной дифференцированности почвенного покрова по условиям трансформации антропогенными факторами, что делает необходимым учет свойств почвогрунтов при планировании и проектировании объектов нефтегазодобывающего промысла с целью нормирования антропогенных нагрузок на почвенный покров и на ландшафты в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кесельман Г.С., Махмудбеков Э.А. Защита окружающей среды при добыче, транспортировке и хранении нефти и газа. М.: Недра, 1981. 256 с.
2. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв // Почвоведение. 1999. № 1.
3. Козин В.В., Петровский В.А. Геоэкология и природопользование: Понятийно-терминологический словарь. Смоленск: Ойкумена, 2005. 576 с.
4. Козин В.В., Осипов В.А. Природопользование на северо-западе Сибири: Опыт решения проблем. Тюмень: ТюмГУ, 1996.
5. Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // РАН Известия АН. Серия географическая. 1995. № 5. С. 27-34.
6. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.
7. Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986.
8. Хренов В.Я. Почвы Тюменской области. Словарь-справочник. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 156 с.
9. Глазовская М.А., Геннадиев А.Н., География почв с основами почвоведения. М.: Изд-во МГУ, 1995. 400 с.
10. Вагнер А.В., Бухарин С.К., Кочемасов С.Г. и др. Методика прогнозирования объема экологического загрязнения грунтов и грунтовых вод при проливе экологически вредных веществ // ИСБ: Экологический вестник России. 2004. № 5. С. 45-51.
11. Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1970.
12. Солодухин М.А., Архангельский И.В. Справочник техника-геолога по инженерно-геологическим и гидрогеологическим работам. М.: Недра, 1982.