

ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ
SOIL AND LAND RESOURCES
ГЛЕБАВА-ЗЕМЕЛЬНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 550.4:551.4 (476)

М. П. Оношко¹, А. С. Глаз², Л. И. Смыкович³, М. А. Подружая¹

¹Филиал «Институт геологии» государственного предприятия «НПЦ по геологии»,
Минск, Беларусь, e-mail: onoshko_m44@mail.ru

²Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: alex_glas@nature.basnet.by

³Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: geosmykovich@gmail.com

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ БЕЛАРУСИ К САМООЧИЩЕНИЮ
ОТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Приведены результаты территориальной оценки потенциальной способности почв к самоочищению от нефти и нефтепродуктов с учетом основных природных факторов, влияющих на физико-химическое, биологическое разложение и механическое рассеяние загрязняющих веществ. Оценка выполнена с использованием ГИС-технологий. В работе изложена методика построения и представлены следующие карты: потенциальной способности почв Беларуси к аккумуляции углеводородов и их рассеянию поверхностным стоком; по благоприятности почвенных условий для радиальной миграции нефтепродуктов и их выноса за пределы почвенного профиля; по суммирующей способности почв Беларуси к механическому рассеиванию углеводородов и итоговой карты потенциальной способности почв к самоочищению от нефтепродуктов. Показано, что для почв Беларуси основным фактором в процессе самоочищения от загрязнения нефтепродуктами является их биологическая деградация. Низкой потенциальной способностью к самоочищению обладают почвы в пределах центральной части Полесья и на севере страны, а также почвы западной части республики.

Ключевые слова: геоинформационная система, самоочищение почв, нефтепродукты, аккумуляция углеводородов, механическое рассеивание углеводородов, карты

M. P. Onoshko¹, A. S. Glaz², L. I. Smykovich³, M. A. Podrzhaya¹

¹Branch «Institute of Geology» of the State Enterprise «SPC for geology», Minsk, Belarus,
e-mail: onoshko_m44@mail.ru

²Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: alex_glas@nature.basnet.by

³Belarusian State University, e-mail: geosmykovich@gmail.com

**ASSESSMENT OF THE POTENTIAL CAPACITY OF SOILS OF BELARUS FOR SELF-PURIFICATION FROM OIL
AND OIL PRODUCTS**

A territorial assessment of the potential capacity of soils for self-purification from oil and oil products has been conducted, taking into consideration the main natural factors affecting the physical and chemical, biological decomposition and mechanical dispersion of contaminants. The assessment has been made with the use of GIS technology. The article outlines the method of development and presents the maps: they include the map of accumulation of hydrocarbons in the soils of Belarus; the intensity of dispersion of oil products by surface runoff and migration of hydrocarbons in the soil section; the removal of hydrocarbons beyond the soil section; the accumulating ability of the soils of Belarus for mechanical dispersion of hydrocarbons and the summarized map of the potential ability of soils for self-purification from hydrocarbons. It is indicated that for the soils of Belarus the main factor in the process of self-purification from oil pollution is their biological degradation. Soils within the central part of Polesye and in the north of the country, as well as the soils of the western part of the republic, have a low potential for self-purification.

Keywords: geoinformational system, self-purification of soil, oil products, accumulation of hydrocarbons, mechanical dispersion of hydrocarbons, maps

М. П. Аношка¹, А. С. Глаз², Л. И. Смыкович³, М. А. Падружая¹

¹Філіял «Інстытут геалогіі» дзяржаўнага прадпрыемства «НПЦ па геалогіі», Мінск, Беларусь, e-mail: onoshko_m44@mail.ru

²Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь, e-mail: alex_glas@nature.basnet.by

³Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: geosmykovich@gmail.com

АЦЭНКА ПАТЭНЦЫЙНАЙ ЗДОЛЬНАСЦІ ГЛЕБ БЕЛАРУСІ ДА САМААЧЫШЧЭННЯ АД НАФТЫ І НАФТАПРАДУКТАЎ

Праведзена тэрытарыяльная ацэнка патэнцыйнай здольнасці глеб да самаачышчэння ад нафты і нафтапрадуктаў з улікам асноўных прыродных фактараў, якія ўплываюць на фізіка-хімічнае, біялагічнае раскладанне і механічнае расейванне забруджвальных рэчываў. Ацэнка выканана з выкарыстаннем ГІС-тэхналогій. Выкладзена метадыка пабудовы і прадстаўлены наступныя карты: групоўка глеб па іх адноснай сарбцыйнай здольнасці да акумуляцыі вуглевадародаў унутры глебавага профілю; групоўка глеб па адноснай здольнасці да вынасу нафтапрадуктаў за межы глебавага профілю, што падсумоўвае карта дыферэнцыяцыі тэрыторыі Беларусі па здольнасці глеб да механічнага расейвання нафтапрадуктаў і выніковая карта па патэнцыйнай здольнасці глеб Беларусі да самаачышчэння ад нафтапрадуктаў. Паказана, што для глеб Беларусі асноўным фактарам у працэсе самаачышчэння ад забруджвання нафтапрадуктамі з'яўляецца іх біялагічная дэградацыя. Нізкай патэнцыйнай здольнасцю да самаачышчэння валодаюць глебы заходняй часткі рэспублікі, у межах цэнтральнай часткі Палесся і на поўначы краіны.

Ключавыя словы: геаінфармацыйная сістэма, самаачышчэнне глебы, нафтапрадукты, акумуляцыя вуглевадародаў, механічнае расейванне вуглевадародаў, карты

Введение. С поступлением нефти и нефтепродуктов (НП) в почвы начинается процесс их естественного фракционирования и разложения. При этом легкие фракции постепенно испаряются в атмосферу, а водорастворимые выщелачиваются из профиля почв нисходящими и боковыми потоками влаги. Тяжелые фракции нефти, как правило, долго остаются в почвах и очень медленно разлагаются под воздействием микроорганизмов и химических реакций, протекающих в почвах. Свойства почв (щелочно-кислотные, сорбционные, окислительно-восстановительные и т.д.) определяют скорость разложения и особенности миграции различных загрязняющих веществ [1–11].

Наиболее подвижные водорастворимые соединения НП в кислой обстановке могут выщелачиваться из почвенного профиля и накапливаться на седиментационных и восстановительных барьерах в донных отложениях местных водоемов и в поймах рек, при этом зона загрязнения территории расширяется.

Время самовосстановления загрязненных земель определяется соотношением первичной аккумуляции нефти и процессов трансформации и миграции НП. Процессы дегградации (трансформации) и миграции нефтепродуктов в почвах контролируются целым рядом факторов и условий. Основными факторами, влияющими на интенсивность трансформации НП в ландшафте, являются климатические и окислительно-восстановительные условия. Миграция нефти в загрязненных ландшафтах определяется в основном типом водного режима, гранулометрическим составом почв и положением загрязненного участка в системе сопряженных геохимических ландшафтов.

Для сравнительной оценки почв республики по потенциальной способности к самоочищению от нефти и НП, устойчивости к углеводородному загрязнению нами разработана геоинформационная система «Потенциальная способность почв Беларуси к самоочищению от нефтепродуктов». Структурно геоинформационная система включает базу данных по почвенной, ландшафтной, климатических и гидрологических картах, которые суммируются в атрибутивной таблице к почвенной карте, и блоки картографических материалов, включающие карты по разложению, аккумуляции, выносу углеводородов и потенциальной способности почв к самоочищению от нефтепродуктов. В работе [12] нами изложена первая часть разработки ГИС-проекта, в которой дана оценка относительной способности почв Беларуси к разложению углеводородов (УВ), включая дифференциацию почвенного покрова по интенсивности биологического и физико-химического разложения УВ. В материалах данной статьи рассмотрены дальнейшие вопросы разработки геоинформационной системы – это разработка карт: а) потенциальной способности почв Беларуси к аккумуляции углеводородов; б) благоприятности почвенных условий для радиальной миграции УВ и их выноса за пределы почвенного профиля; в) способности почв к механическому рассеянию нефтепродуктов; г) итоговой карты по оценке потенциальной способности почв Беларуси к самоочищению от нефтепродуктов.

Материалы и методика исследований. При территориальной оценке потенциальной способности почв к самоочищению от нефти и нефтепродуктов учитываются основные природные факторы, влияющие на физико-химическое и биологическое разложение, а также механическое рассеяние загрязняющих веществ. Соотношение благоприятных и неблагоприятных факторов протекания этих процессов является основанием для отнесения почв к группе с низкой, средней или высокой способностью к физико-химической и биологической деградации и механическому рассеянию [7, 8].

Для сравнительной оценки почв Беларуси по потенциальной способности к самоочищению от нефти и НП, устойчивости к углеводородному загрязнению были использованы рекомендации, изложенные в работах [7–9]. При описании построения аналитических карт рисунки некоторых карт не прилагаются, чтобы не перегружать работу графическим материалом, но излагаются легенды построения карт. В итоге приводится суммирующая карта соответствующего блока.

Результаты исследований и их обсуждение. На потенциальную способность почв к самоочищению, помимо разложения углеводородов, влияет интенсивность механического рассеяния нефтепродуктов. В свою очередь интенсивность механического рассеяния нефтепродуктов определяют две разнонаправленные группы факторов, способствующие аккумуляции углеводородов и закреплению их в почвенном профиле (одна группа факторов), выносу углеводородов за пределы почвенного профиля (вторая группа). Разность относительных величин этих факторов и определяет относительную интенсивность механического рассеяния нефтепродуктов.

Способность почв Беларуси к аккумуляции углеводородов. В геоинформационной системе карты блока аккумуляции углеводородов отражают относительную способность почв к аккумуляции углеводородов на внутрипочвенных сорбционных и механических барьерах, которые препятствуют дальнейшей миграции загрязняющих веществ. Блок включает две аналитические и одну суммирующую карту группировки почв по относительной сорбционной способности органогенных и гумусовых горизонтов и минеральной части почв к аккумуляции НП.

Основным показателем сорбционной способности почв является мощность органогенных и гумусовых горизонтов, содержание в них $C_{орг}$, гранулометрический состав горизонта С (или ВС) и процентное содержание $C_{орг}$ в нем. Все эти показатели имеются в атрибутивной таблице почвенной карты. Для группировки почв использовались значения коэффициента фильтрации (они также приведены в атрибутивной таблице). По этим показателям построены две аналитические карты группировки почв по сорбционной способности гумусового и минерального горизонтов к аккумуляции НП. Карты строились согласно следующим легендам (табл. 1):

Легенда к аналитической карте по относительной способности к аккумуляции НП горизонтами С или ВС состоит из трех группировок почв по сорбционной способности минеральных горизонтов. В первую группу включены почвы легкого гранулометрического состава. Они обладают хорошими фильтрационными свойствами и, следовательно, низкой сорбционной способностью. В группу «средней сорбционной способности» включены почвы, подстилаемые супесью или двучленными породами – супесью с суглинками. Высокой сорбционной способностью обладают почвы третьей группы – это почвы тяжелого гранулометрического состава (глинистые, суглинистые) и торфяные горизонты.

Т а б л и ц а 1. Легенды к аналитическим картам группировки почв по сорбционной способности гумусовых, органогенных (1) и минеральных горизонтов (2) к аккумуляции нефтепродуктов

Сорбционная способность к аккумуляции НП	Легенда 1		Легенда 2		
	горизонты А, и Т		горизонты С или ВС		
	мощность горизонта, см	содержание $C_{орг}$, %	литология	содержание $C_{орг}$, %	коэффициент фильтрации, м/сут
Низкая	10–15	<1,0	Пески	<0,10	>1,5
Средняя	20–30	1,5–3,0	Супеси, суглинки	0,11–0,19	0,05–1,5
Высокая	45–50	>4,0	Суглинки, глины, торф	0,20–0,36	<0,05

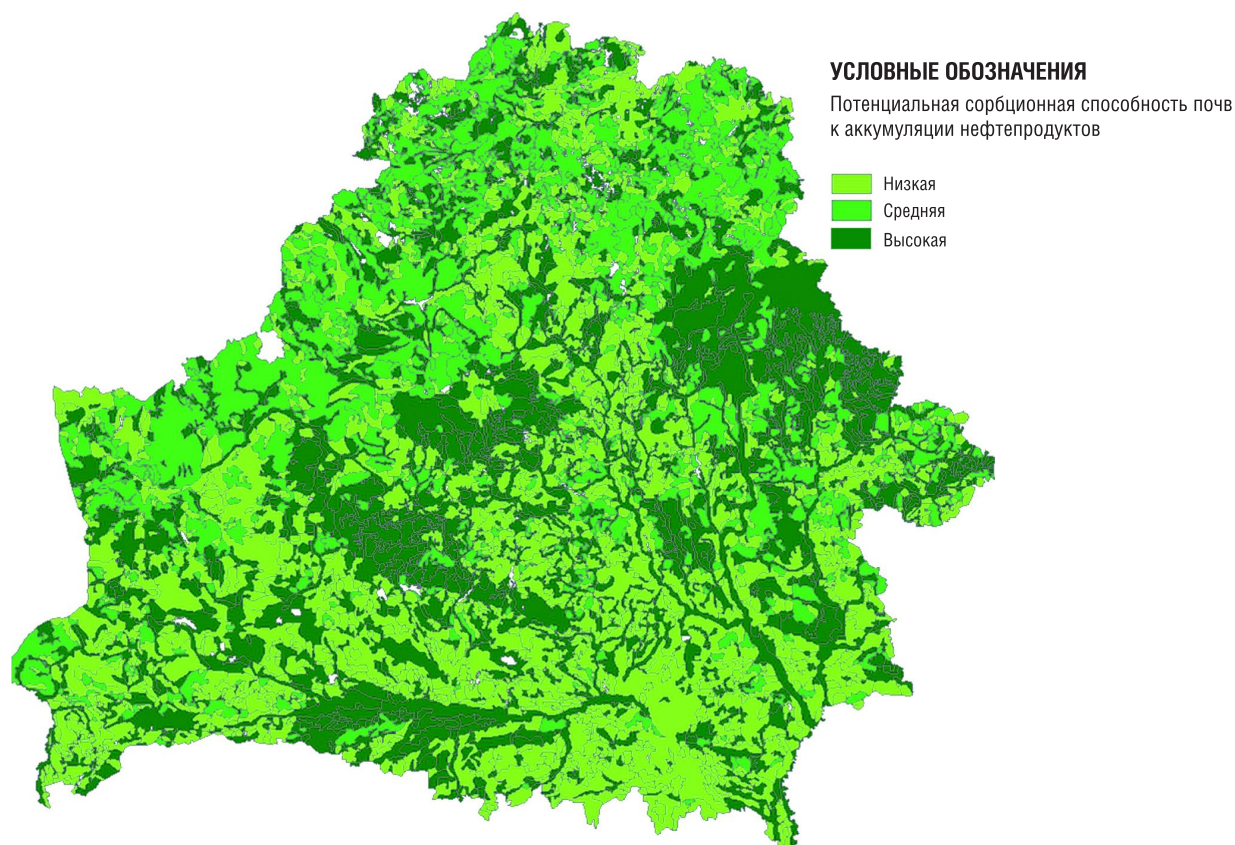


Рис. 1. Дифференциация территории Беларуси по потенциальной способности почв к аккумуляции нефтепродуктов

На основе двух аналитических карт построена суммирующая (интегральная) карта относительной сорбционной (аккумулирующей) способности почв по отношению к НП, отражающая низкую, среднюю и высокую способность почв к аккумуляции НП (рис. 1, табл. 2).

Распределение почв по относительной способности к аккумуляции НП очень пестрое. Высокая способность отмечена в местах, где сорбционные барьеры более мощные, где почвообразующими породами выступают лессы, суглинки, глины или мощные торфяники. Высокие показатели наблюдаются в северо-восточной, восточной и центральной частях республики.

Вынос углеводов за пределы почвенного профиля. Карты блока выноса углеводов, включающие две аналитические и одну суммирующую (карта относительной способности почв к выносу НП за пределы почвенного профиля), строились с учетом интенсивности поверхностного стока и миграции углеводов в пределах элементарных ландшафтов и почвенного профиля.

Таблица 2. Группировка почв по потенциальной способности к аккумуляции НП

Способность почв к аккумуляции НП	Сорбционная способность гумусовых горизонтов	Сорбционная способность минеральных горизонтов
Низкая	Низкая	Низкая
	Низкая	Средняя
	Средняя	Низкая
Средняя	Средняя	Средняя
	Низкая	Высокая
	Высокая	Низкая
Высокая	Высокая	Высокая
	Высокая	Средняя
	Средняя	Высокая

Дифференциация территории по потенциальной интенсивности рассеяния нефтепродуктов поверхностным стоком проводилась по двум показателям – среднегодовому количеству осадков и модулю среднегодового стока путем синтеза двух оцифрованных карт: карты среднегодового количества осадков и гидрографической карты (рис. 2).

Карта дифференциации территории Беларуси по потенциальной интенсивности рассеяния нефтепродуктов поверхностным стоком строилась согласно легенде (табл. 3).

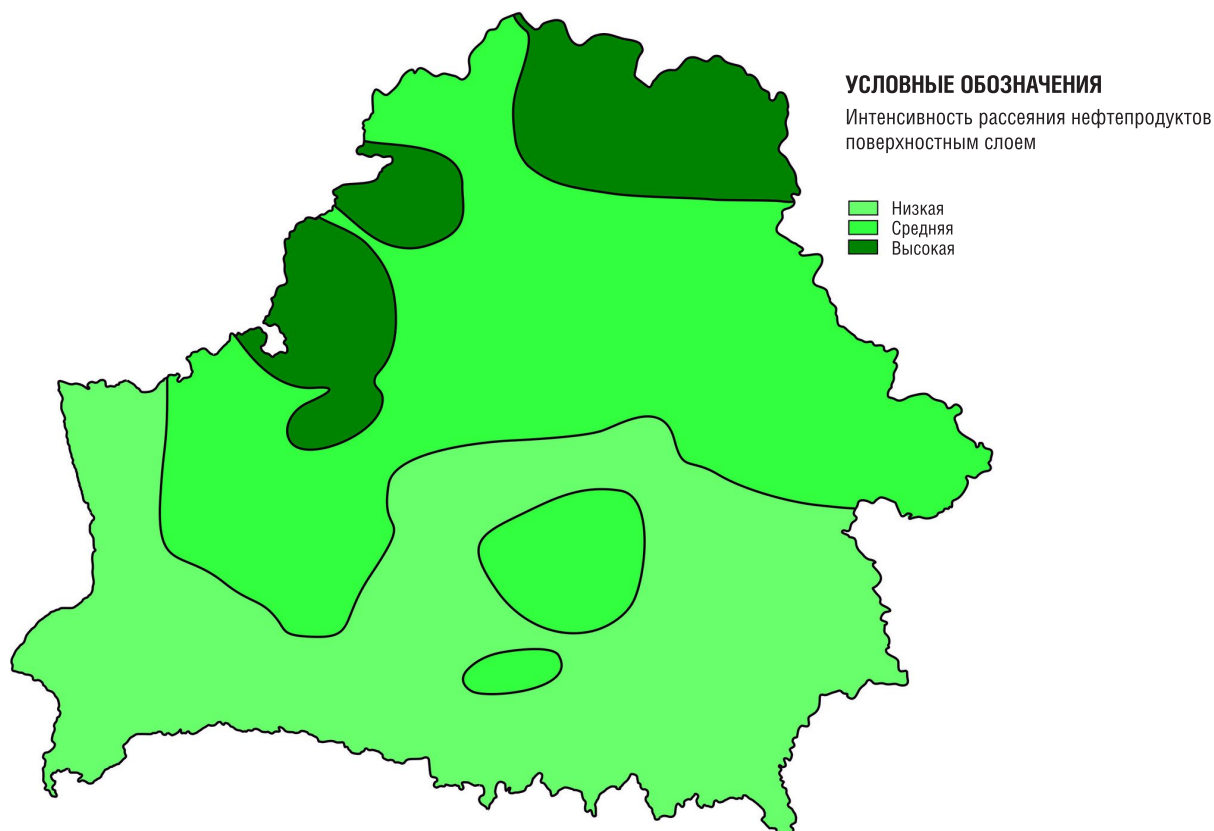


Рис. 2. Дифференциация территории Беларуси по потенциальной интенсивности рассеяния нефтепродуктов поверхностным стоком

Как свидетельствует анализ карты потенциальной интенсивности рассеяния нефтепродуктов поверхностным стоком, в рассеянии ведущим выступает фактор «модуль среднегодового стока», показатель которого уменьшается с севера на юг Беларуси. Наиболее высокая интенсивность рассеяния НП поверхностным стоком характерна для северо-восточной и западной части территории Витебской области (модуль стока здесь от 6,0 до > 8,0 л/с · км², количество осадков 650–750 мм/год. Для западной части Гродненской области и всей территории Брестской и Гомельской областей установлена низкая интенсивность рассеяния НП поверхностным стоком.

При составлении второй аналитической карты группировки почв по потенциальной интенсивности водной миграции НП в почвенном профиле (рис. 3) были взяты данные сочетания водного режима почв (из атрибутивной таблицы к почвенной карте) с их положением в элементарных ландшафтах (по карте элементарных ландшафтов Беларуси). По водному режиму выделены 3 группы почв: 1) почвы промывного (способность к рассеянию углеводородов высокая), 2) периодически застойного (способность средняя) и 3) застойного (эти почвы обладают низкой способностью к рассеянию углеводородов) режимов. Соответственно наиболее благоприятные условия для миграции (выноса) углеводородов имеют место в элювиальных ландшафтах. Менее предрасположены к миграции НП трансэлювиальные и трансаккумулятивные ландшафты. Наименее благоприятными условиями для выноса НП характеризуются аккумулятивные ландшафты.

Таблица 3. Легенда к карте дифференциации территории Беларуси по потенциальной интенсивности рассеяния нефтепродуктов поверхностным стоком

Интенсивность рассеяния НП поверхностным стоком	Среднегодовое количество осадков, мм	Модуль среднегодового стока, л/с · км ²
Низкая	<600	<4,5
Средняя	600–700	4,5–7,0
Высокая	>700	>7,0

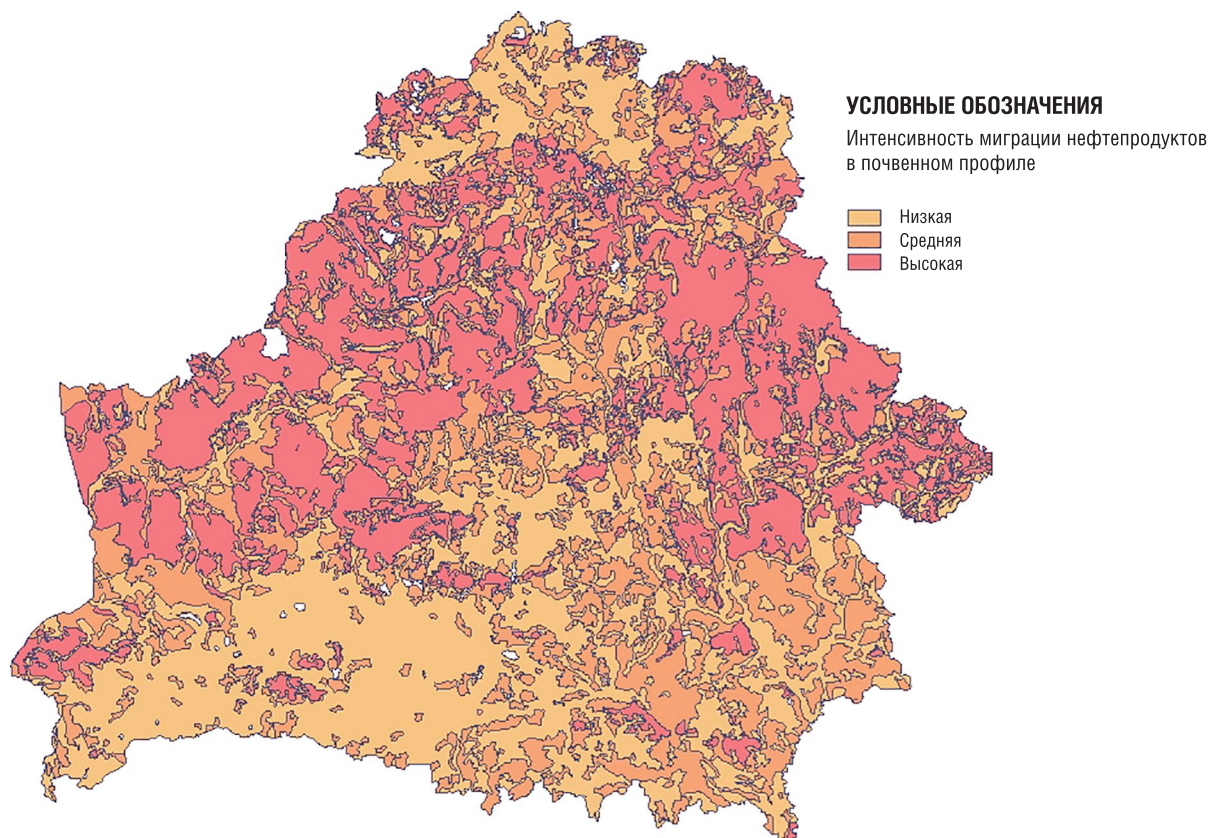


Рис. 3. Дифференциация территории Беларуси по потенциальной интенсивности миграции нефтепродуктов в почвенном профиле

Легенда к карте группировки почв по потенциальной интенсивности миграции НП в почвенном профиле представлена в табл. 4.

Для составления суммирующей карты относительной способности почв к выносу НП за пределы почвенного профиля (рис. 4) в расчет брались интенсивность рассеяния углеводородов поверхностным стоком и интенсивность миграции в почвенном профиле. Карта составлена согласно легенде (табл. 5).

Карта относительной способности почв к выносу нефтепродуктов за пределы почвенного профиля (рис. 4) в значительной степени схожа с картой потенциальной интенсивности рассеяния нефтепродуктов поверхностным стоком (см. рис. 2). Следовательно, при дифференциации территории Беларуси по выносу нефтепродуктов за пределы почвенного профиля определяющим фактором является интенсивность выноса НП поверхностным стоком.

Наиболее низкая способность к выносу НП за пределы почвенного профиля характерна для почв южной части территории республики и запада Гродненской области – это территории с пониженным количеством суммы среднегодовых осадков, более низким модулем среднегодового стока и территории с преобладанием супераквальных ландшафтов.

Таблица 4. Легенда к карте группировки почв по потенциальной интенсивности миграции НП в почвенном профиле

Интенсивность миграции НП в почвенном профиле	Водный режим почв	Элементарный ландшафт
Низкая	Водозастойный	Супераквальные
Средняя	Периодически промывной	Трансэлювиальные и трансаккумулятивные
Высокая	Промывной	Элювиальные

Таблица 5. Легенда карты группировки почв по относительной способности почв к выносу НП за пределы почвенного профиля

Интенсивность суммарного выноса НП за пределы почвенного профиля	Интенсивность рассеяния НП поверхностным стоком	Интенсивность миграции НП в почвенном профиле
Низкая	Низкая	Низкая
Средняя	Средняя	Средняя
Высокая	Высокая	Высокая

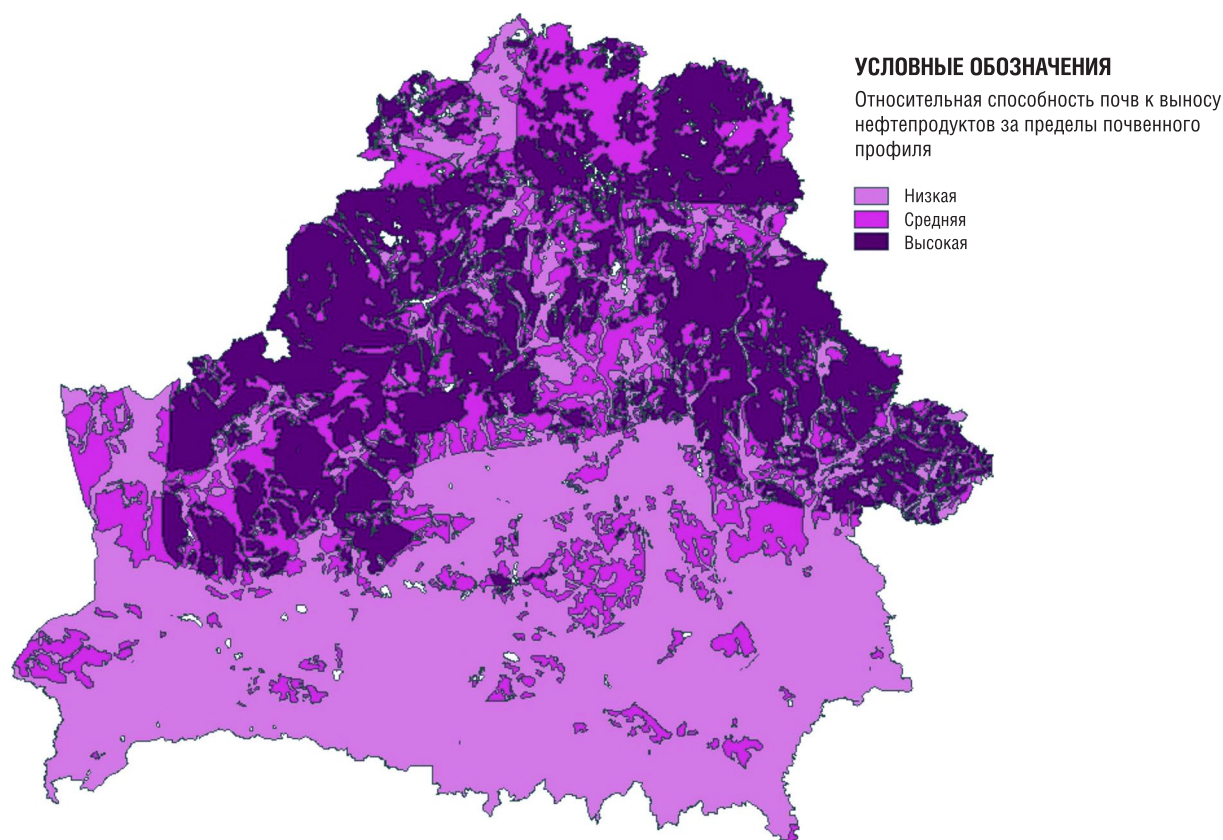


Рис. 4. Дифференциация территории Беларуси по относительной способности почв к выносу нефтепродуктов за пределы почвенного профиля

Следующий блок карт в ГИС-проекте представляют две суммирующие карты: карта группировки почв по относительной способности к механическому рассеянию нефтепродуктов и итоговая карта группировки почв по способности к самоочищению от углеводородного (НП) загрязнения.

Механическое рассеяние неразложившихся техногенных углеводородов водными потоками является одним из факторов самоочищения, устойчивости почв к загрязнению углеводородами. Рассеяние углеводородов происходит в двух направлениях: с поверхностным смывом с почвы и вертикальной миграцией в почвенном профиле. Карта группировки почв по потенциальной способности почв к механическому рассеянию НП (рис. 5) строилась на основе двух групп разнонаправленных факторов: факторы, способствующие аккумуляции НП и их закреплению в почвенном профиле (см. описание к рис. 1) и факторы, способствующие выносу за пределы почвенного профиля (см. описание к рис. 4).

Критерием разделения почв по условиям механического рассеяния НП принята разность показателей аккумуляции и выноса: преобладание аккумуляции – это низкая способность почвы к рассеянию НП, равенство – среднее, превышение выноса над аккумуляцией – высокая способность почвы к рассеянию НП (табл. 6).

Пространственная структура потенциальной способности почв к механическому рассеянию нефтепродуктов (рис. 5) в значительной степени схожа с пространственной структурой относительной способности почв к выносу нефтепродуктов за пределы почвенного профиля (см. рис. 4), что подчеркивает большую значимость фактора выноса НП.

Таблица 6. Легенда карты почв по потенциальной способности почв к механическому рассеянию НП

Способность почв к механическому рассеянию НП	Способность почв к аккумуляции НП	Интенсивность суммарного выноса НП из почвенного профиля
Низкая	Высокая	Низкая
Средняя	Средняя	Средняя
Высокая	Низкая	Высокая

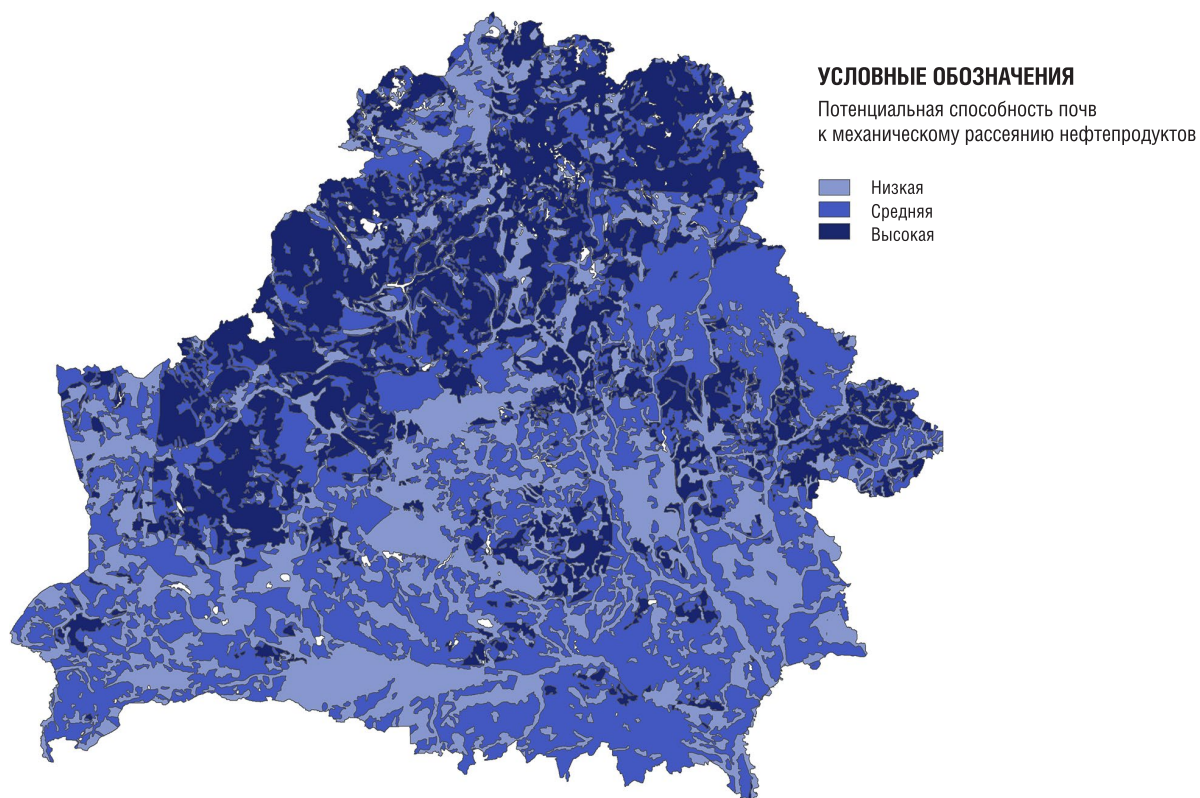


Рис. 5. Дифференциация территории Беларуси по потенциальной способности почв к механическому рассеянию нефтепродуктов

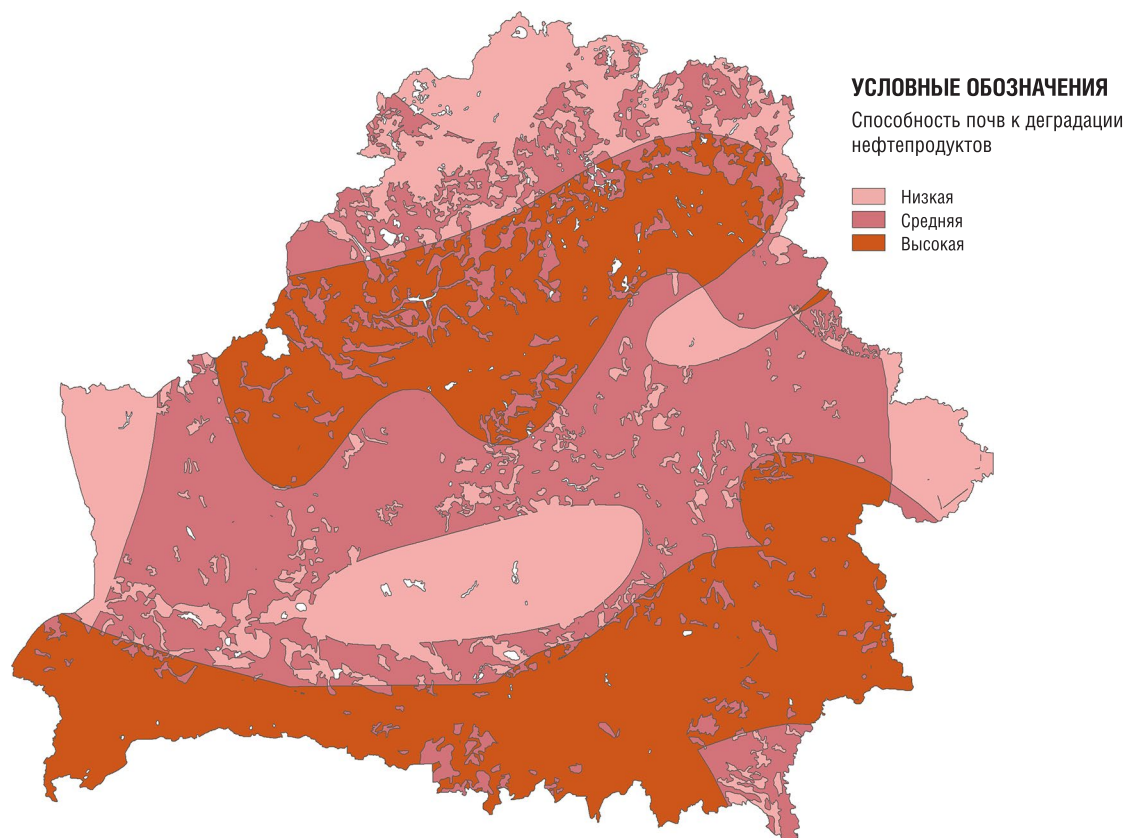


Рис. 6. Дифференциация территории Беларуси по способности почв к деградации нефтепродуктов [12]

Итоговая карта группировки почв по способности к самоочищению от углеводородного (НП) загрязнения (рис. 7) создана на основе синтеза карт блоков деградации и механического рассеяния углеводородов в почвах, а именно: совмещения карт потенциальной способности почв Беларуси к деградации углеводородов (рис. 6) и механического рассеяния НП (рис. 5) в почвах. В легенде (табл. 7) представлены сочетания показателей деградации и рассеяния НП.

Проведенное исследование позволило дифференцировать почвенный покров территории Беларуси по потенциальной способности к самоочищению от техногенных углеводородов. Для оценки выбраны почвенные и климатические характеристики, которые могут определять условия усиления или торможения процессов физико-химического и биологического разложения углеводородов в почвах и механического их рассеяния.

Анализ картографического материала свидетельствует, что для почв Беларуси основным ведущим фактором в процессе самоочищения от загрязнения нефтепродуктами является их биологическая деградация, которая оценивалась нами по количеству осадков в теплое время и продолжительности безморозного периода. Низкой потенциальной способностью к самоочищению обладают почвы в пределах центральной части Полесья, на севере республики и в западной части Гродненской области.

Таблица 7. Легенда к карте группировки почв по способности к самоочищению от углеводородного (НП) загрязнения

Способность почв к самоочищению от загрязнения НП (устойчивость почв к загрязнению НП)	Способность почв к деградации НП	Способности почв к механическому рассеянию НП
Низкая	Низкая	Низкая
	Средняя	Низкая
	Низкая	Средняя
Средняя	Низкая	Высокая
	Средняя	Средняя
	Высокая	Низкая
Высокая	Высокая	Средняя
	Средняя	Высокая
	Высокая	Высокая

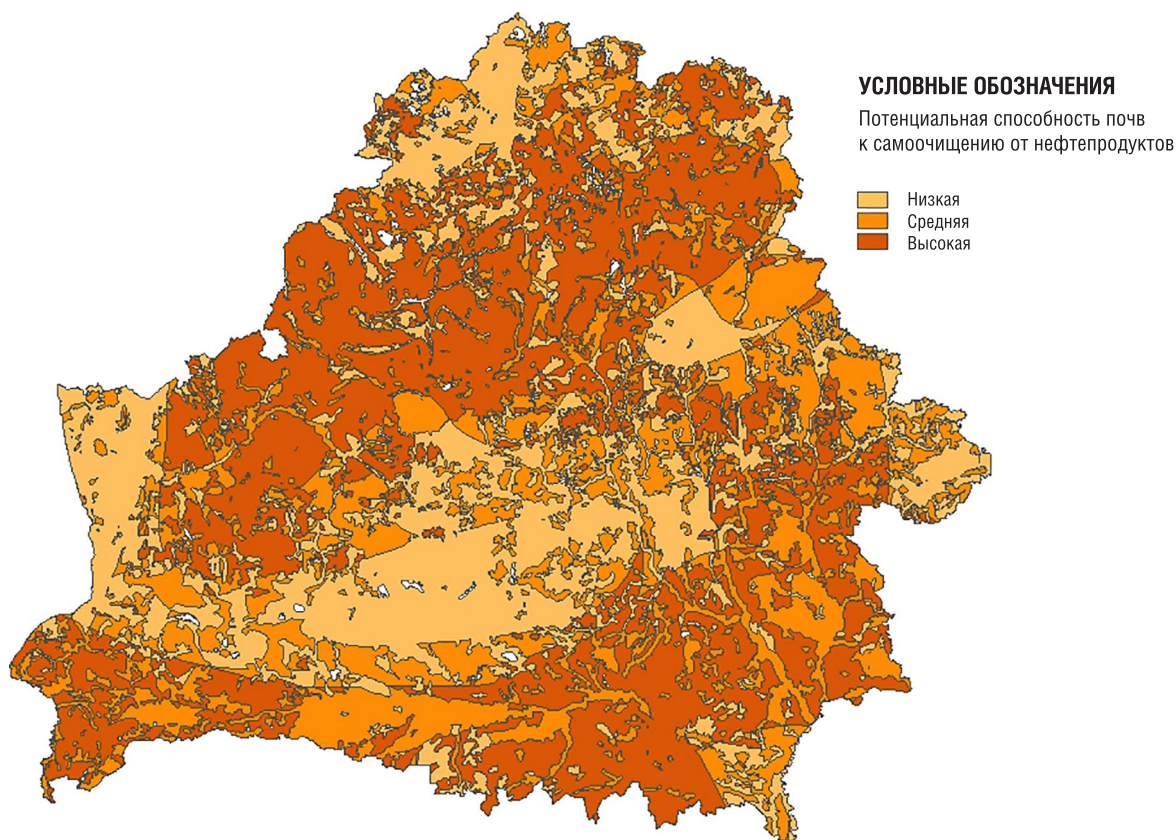


Рис. 7. Дифференциация территории Беларуси по потенциальной способности почв к самоочищению от нефтепродуктов

Приведенные факторы способности почв Беларуси к выносу и аккумуляции нефтепродуктов носят качественный характер. Они указывают лишь на почвенные условия без учета уровня загрязнения и состава загрязняющих веществ. При оценке потенциала самоочищения конкретной территории необходимо вводить показатели уровней загрязнения почвы, состава загрязняющих веществ и объемов их поступления.

Список использованных источников

1. Хаустов, А. П. Геохимическая модель трансформации и индикации нефтепродуктов при их вертикальной миграции в ландшафтах / А. П. Хаустов, М. М. Редина // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М. А. Глазговской): докл. Всерос. науч. конф. Москва, 4–6 апр. 2012 г. – М.: МГУ, 2012. – С. 342–344.
2. Максимова, С. Л. Способ деструкции нефти и нефтепродуктов в загрязненных почвах / С. Л. Максимова, В. В. Инкин // Природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 107–113.
3. Медведев, В. С. Топливный комплекс России: мифы и реальность / В. С. Медведев // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 3. – С. 40.
4. Хаустов, А. П. Трансформация нефтепродуктов в геологической среде при изменении их битумоидного статуса / А. П. Хаустов, М. М. Редина // Геоэкология. Инженерная геология. Геокриология. – 2013. – № 6. – С. 502–515.
5. Орлов, Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д. С. Орлов, Л. К. Садовников, И. Н. Лозановская. – М.: Высш. шк., 2002. – 334 с.
6. Илларионов С. А. Трансформация углеводородов нефти в почвах гумидной зоны: дис. ... д-ра биол. наук. спец. 03.00.16. – Сыктывкар, 2006. – 426 с.
7. Геннадиев, А. Н. Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами и полициклическими ароматическими углеводородами: метод и опыт составления / А. Н. Геннадиев, Ю. И. Пиковский // Почвоведение. – 2007. – № 1. – С. 80–92.
8. Пиковский, Ю. И. ГИС для оценки устойчивости почв к загрязнению техногенными углеводородами (на примере Калининград. обл.) / Ю. И. Пиковский, А. А. Геннадиева // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 5. География. – 2004. – № 3. – С. 18–24.
9. Картографическая оценка потенциала самоочищения почв от техногенных углеводородов на территории России / Ю. И. Пиковский [и др.] // География и окружающая среда. – М.: ГЕОС, 2000. – С. 286–303.
10. Зборищук, Ю. Н. Почвенно-экологический мониторинг / Ю. Н. Зборищук. – М.: МГУ, 1992. – 86 с.
11. Хаустов, А. П. Техногенные системы как феномен самоорганизации материи (на примере загрязнения геологической среды углеводородами) / А. П. Хаустов // Литосфера. – 2014. – № 1. – С. 105–116.
12. Оценка потенциальной способности почв Беларуси к разложению углеводородов / М. П. Оношко [и др.] // Природные ресурсы. – 2019. – № 1. – С. 6–13.

Поступила 20.02.2019