

УДК 631.4  
<https://doi.org/10.36906/KSP-2023/54>

*Штогрин А.В.*  
*ORCID: 0009-0005-5743-9131*  
*Нижевартровский государственный университет*  
*г. Нижневартовск, Россия*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

**Аннотация.** В настоящем исследовании представлены результаты модельного эксперимента самовосстановленных техногенных поверхностных образований, формирующихся на территории нефтегазодобывающего комплекса таёжной зоны Западно-Сибирской равнины. Исследование включает в себя анализ данных, проведение численных экспериментов и построение прогностических моделей, которые могут быть использованы для более эффективного управления почвенными ресурсами и устойчивого их состояния.

**Ключевые слова:** моделирование; органическое вещество; техногенные поверхностные образования; депонирование; нарушенные земли.

*Shtogrina A.V.*  
*ORCID: 0009-0005-5743-9131*  
*Nizhnevartovsk State University*  
*Nizhnevartovsk, Russia*

### MODELLING OF ORGANIC MATTER DYNAMICS IN TECHNOGENIC SURFACE FORMATIONS OF THE OIL AND GAS PRODUCTION COMPLEX

**Abstract.** The present study presents the results of a modelling experiment of self-restored anthropogenic surface formations formed on the territory of the oil and gas production complex of the taiga zone of the West Siberian Plain. The study includes data analysis, numerical experiments and construction of predictive models that can be used for more effective management of soil resources and sustainable soil condition.

**Keywords:** modelling; organic matter; technogenic surface formations; deposition; oil and gas production complex.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и  
Правительства ХМАО-Югры № 22-17-20011, <https://rscf.ru/project/22-17-20011/>*

Моделирование динамики органического вещества на техногенных поверхностных образованиях нефтегазодобывающего комплекса является важной задачей при оценке бюджета углерода с целью оптимизации процессов, улучшения безопасности и охраны окружающей среды, а также прогнозирования последствий его воздействия. Моделирование ТПО представляет под собой, сложная задача, которая требует учета множества факторов и процессов, сам процесс оценки происходит в репрезентативных модельных площадках.

Существенный вклад в развитие математического моделирования органического вещества и других процессов почв вложил А.В. Смагин [3]. В его работах математические модели, основываясь на экспериментальных параметрах потенциальных режимов почвенных систем, являются часто адекватным описанием реальности. Использование новых кинетических нелинейных подходов делают исследование более реалистичным, это помогает также контролировать сложные био-абиотические связи в квазипочвах [3]. Непосредственно скорость преобразования растительности в гумус была рассчитана в работе О.Г. Чертова [4]. Математическое моделирование сделано на основе анализа количественных аспектов временной динамики минерализации и гумификации органических остатков в почве, учитывая биохимические показатели и биогеоценотические. Данные модели стали основой для расчета накопления органического вещества в почве при зарастании отвалов карьеров Ленинградской области [2].

В первую очередь, необходимо учитывать процессы образования и разрушения органического вещества на нарушенных землях, где формируются техногенные поверхностные образования (ТПО) [6]. На их поверхности происходит накопление органического материала, который в результате различных активных биологических процессов преобразует его в гумус. Трансформация органического вещества может происходить через окисление, гидролиз, биологическую деградацию и др. [5].

Для моделирования динамики органического вещества необходимо учитывать также влияние окружающей среды и факторов, которые могут повлиять на процессы образования и разрушения органического материала. Это может быть температура, влажность, наличие микроорганизмов и др. Для этой цели может быть использовано несколько подходов и методов:

- Компьютерное моделирование – создание математических моделей, которые описывают физические и химические процессы, происходящие на техногенных поверхностных образованиях. Моделирование может включать в себя расчеты химических реакций, а также множество других параметров.
- Компьютерные программы – использование специализированных программных средств, таких как COMSOL, Fluent, и других, для численного моделирования процессов на поверхности. Эти инструменты позволяют визуализировать и анализировать динамику органического вещества.
- Балансовые линейные кинетические модели – создание модели динамики органического вещества почв. Основным показателем состояния служит запас органического вещества на определенной территории. При этом, как правило, не учитывается его распределение в профиле и на исследуемой площади.

В настоящем исследовании нами был поставлен модельный эксперимент, позволяющий оценить восстановление растительности и степень накопления органического вещества для разного природного субстрата, используемого для рекультивационных мероприятий нефтедобывающими предприятиями. Экспериментальный участок располагается на

слабодренированной плоской первой надпойменной террасе реки Обь, в зоне островной мерзлоты и перелетков. В настоящее время на данной территории мерзлота проявляется не ежегодно, а сезонно. Конструирование в модельном эксперименте ТПО позволяет понять как созданные механическим способом квазипочвы, не отягощенные нефтяным загрязнением, накапливают органическое вещество. В ходе проведения рекультивации и при обустройстве месторождений, образованные ТПО в первые два года, чаще всего, представляют собой открытую, не закрепленную растительностью поверхность. В зависимости от того, проводились рекультивационные мероприятия на техногенных объектах или объекты были оставлены на самовосстановление, происходит зарастание такого объекта растительностью. Первым индикатором восстановления почв является растительность: травянистая и моховая.

В модельном эксперименте были созданы конструкции техногенных поверхностных образований, представляющие собой ячеечные площадки размером  $1 \times 1$  м и глубиной 10 см, в которые насыпались исследуемые почвенные субстраты разного минерального и органического состава: песок, суглинок, торф, смесь торфа с песком. Данные субстраты представляют собой сконструированную модель ТПО, оставленную на самовосстановление сроком на 10 лет. Первоначальный отбор проб на определение физико-химических свойств исследуемых субстратов был произведен на нулевом этапе, параллельно установлению пробных площадок. Повторный отбор проб проводился через 10 лет, когда произошло примитивное самовосстановление гумусового слаборазвитого горизонта. За десятилетний период некоторые ТПО развились до слаборазвитых почв, образуя гумусово-слаборазвитый горизонт W. Таким образом, литострат песчаный развился до псаммозёма, литострат суглинистый до пелозёма, органолитострат до псаммозёма гумусового, реплантозём, за 10 лет не сменил типового названия.

В построении модели использовались следующие параметры накопления биомассы: наземная, приземная части и корни, процентное содержание органического вещества. В исследовании использовали балансовые линейные кинетические модели: накопления биомассы растения в предположении постоянной скорости прироста (1) и модель трансформации органического вещества в почве, через определение количества углерода C (2).

$$W = W_0 + bt, (1)$$

где W – биомасса сухого вещества растения;

t – время;

$W_0$  – параметр, задающий значение биомассы W когда  $t=0$  (начальная точка отсчета);

b – параметр, определяющий абсолютную скорость роста.

Основная переменная состояния в моделях трансформации органического вещества в почве C ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ),

$$C = C_{\%} \times \rho_b \times h, (2)$$

где C (%) – процентное содержание ОВ относительно массы сухой почвы;

$\rho_b$  – объемная плотность почвы;

$h$  – мощность слоя почвы (см), в котором сосредоточен данный запас.

Такое задание переменной состояния предполагает равномерное распределение органического вещества в почве в горизонтальной плоскости при неизменном значении  $h$ . База построения моделей – закон сохранения масс.

В результате исследования были получены данные ТПО по биомассе восстановленной растительности и динамике органического вещества, которые мы занесли в концептуальную схему, на основании предложенной концепции Надпорожской с соавторами [2] (рис. 1).

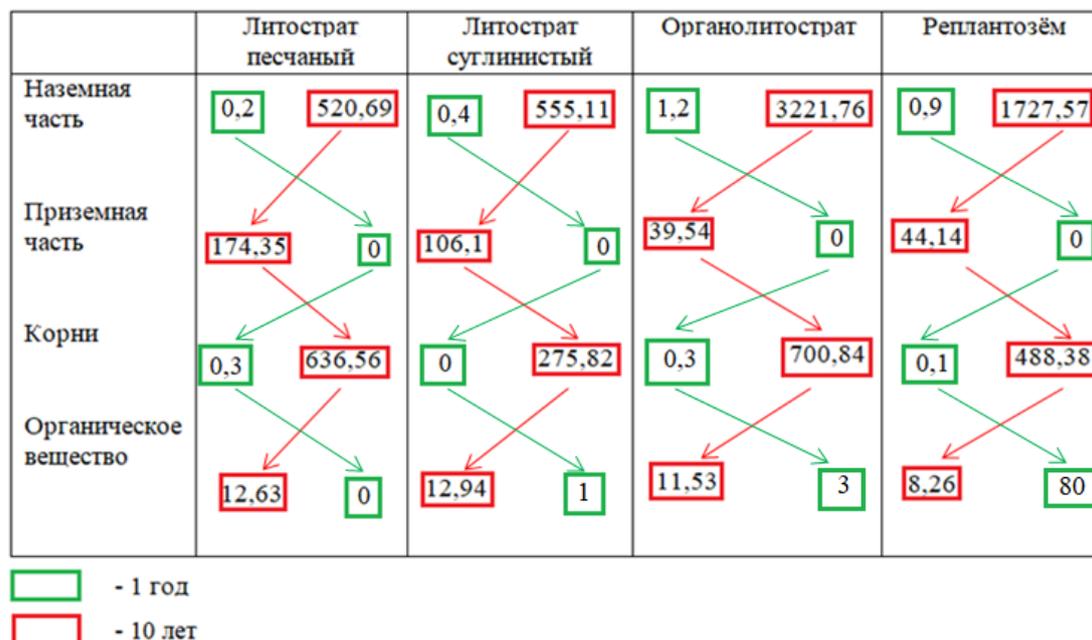


Рис.1. Динамика накопления органического вещества в ТПО

Проведенный расчет модели накопления биомассы растений по формуле (1) для годового и десятилетнего периода представлен в таблице 1.

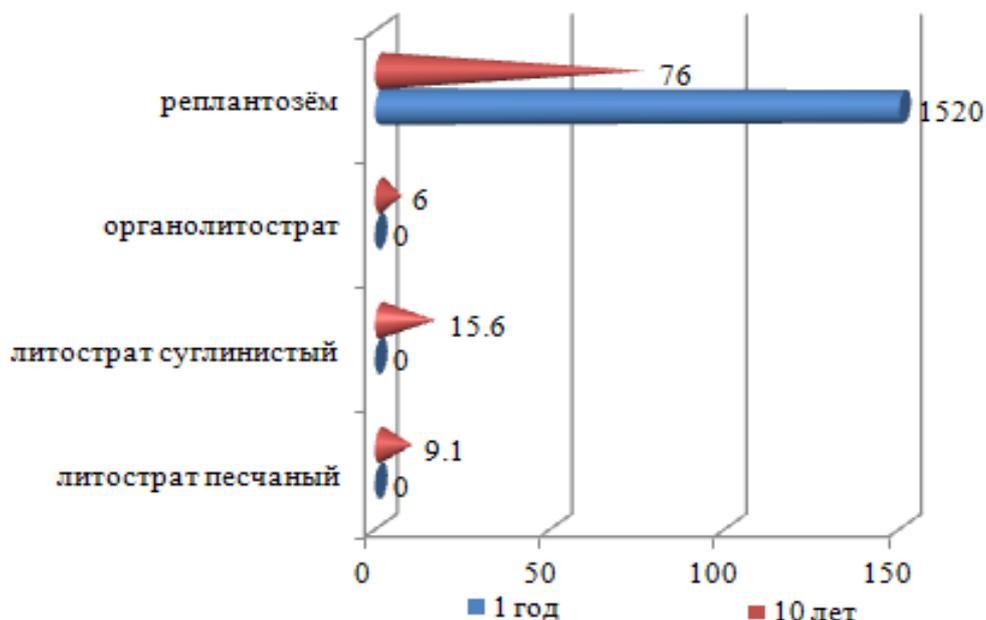
Таблица 1

Биомасса сухого вещества растения восстановившаяся на ТПО

Период восстановления (t)	Параметр, определяющий абсолютную скорость роста (b)			
	Литострат песчаный	Литострат суглинистый	Органолитострат	Реплантозём
1 год	0,5	1,6	4,5	81
10 лет	1331	937	10264	2260

В целом, результаты показывают, что накопление биомассы за десятилетний период имеет значительную привилегию над значениями восстановившейся растительности за первый год, однако эти показатели являются необходимыми для моделирования. Отмечается высокое восстановление растительности на площадке с органолитостратом, где изначально был заложен субстрат песка с торфом и низкие показатели на площадке с литостратом суглинистым.

Результаты моделирования трансформации органического вещества рассчитанные по формуле (2) представлены в диаграмме на рисунке 2.



**Рис. 2.** Диаграмма модели трансформации органического вещества в ТПО

На фоне минеральных площадок выделяется реплантозём, созданный торфяной крошкой. Высокое содержание органического вещества в торфе не является устойчивым показателем, за десятилетний период его количество сильно уменьшилось. В минеральных ТПО наблюдается устойчивое накопление органического вещества, особенно на площадке с литостратом суглинистым. Количественная оценка трансформации органического вещества в ТПО разного состава обнаруживает в модели нелинейную форму зависимости трансформации органического вещества от накопления биомассы. По мнению авторов, в настоящее время роль всей почвенной биоты в моделях динамики органического вещества почв сводится к минерализации органического вещества, кроме этого необходимо принимать во внимание в формировании гумифицированного материала, а также учитывать гидротермические условия, гранулометрический состав и элементный состав [4].

В нашем исследовании показано, что с целью изучения восстановления растительности на ТПО необходимо сравнивать свойства ТПО по приближенным между собой показателям. Одним из основных почвообразующих факторов является время, следовательно, на техногенных поверхностных образованиях, со временем, в процессе почвообразования и разрастания растительности сформируется органическая часть почвы, что приведет к начальному почвообразовательному процессу и формированию слаборазвитой почвы. Для выявления закономерностей развития слаборазвитых почв на ТПО изучаются зависимости мезорельефа, микрорельефа и растительности. Восстановление мохово-травянистого, кустарникового и древесного ярусов на ТПО зависит от расположения ландшафта, от состава грунта, от рельефа. Исследования показывают, что в основном, заселение растительностью

открытых грунтов новосозданных ТПО происходит типичной для ландшафта, в котором находится ТПО [1].

Экспериментальные модельные площадки, на которых были сконструированы поверхностные образования используемые в рекультивационных мероприятиях показали возможность восстанавливать, накапливать органическое вещество.

### Литература

1. Коркина Е.А. Устойчивость почв правобережья Средней Оби к техногенным нагрузкам нефтегазодобывающего комплекса // Вестник Томского государственного университета. Приложение № 15: Современные проблемы почвоведения и оценки земель Сибири: Мат-лы III Всероссийской научной конференции. Томск, 2005. С. 183-185.
2. Надпорожская М.А., Абакумов Е.В., Чертов О.Г. Моделирование накопления органического вещества в почве при зарастании отвалов карьеров Ленинградской области // Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. М., 2007. С. 254-262.
3. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Смагина М.В., Глаголев М.В. Моделирование динамики органического вещества почв. М.: МГУ, 2001. 120 с.
4. Чертов О.Г., Надпорожская М.А. Модели динамики органического вещества почв: проблемы и перспективы // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т.8. № 2. С. 391-399.
5. Шеин Е.В., Милановский Е. Ю. Органическое вещество и структура почвы: учение В.Р. Вильямса и современность // Известия ТСХА. 2014. № 1. С. 42-51.
6. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2004. 342 с.

© Штогрин А.В., 2024