

УДК 504.062.4:303.725.36

Кутышкин А.В.,
главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории
имитационного моделирования
Шульгин О.В.,
кандидат экономических наук, доцент
руководитель научно-исследовательской лаборатории имитационного
моделирования
Нижевартровский государственный университет

Kutyshkin AV,
Chief Researcher, Simulation Modeling Research Laboratory
Shulgin OV,
PhD in Economics, Associate Professor
Head of the Simulation Modeling Research Laboratory
Nizhnevartovsk State University

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДЕЛИ «ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ – ДАВЛЕНИЕ –
СОСТОЯНИЕ – ВОЗДЕЙСТВИЕ – РЕАГИРОВАНИЕ» ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЭКОЛОГИЧНОСТИ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ЗЕМЛЯМИ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕМ РЕГИОНЕ**

**USING THE DRIVING FORCES-PRESSURE-STATE-IMPACT-RESPONSE MODEL
TO ASSESS THE ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF INDUSTRIAL LAND
USE SYSTEMS IN AN OIL-PRODUCING REGION**

Целью исследования является оценка экологичности функционирования системы землепользования промышленными землями (СЗПЗ) в Ханты – Мансийском автономном округе с использованием модели «Движущие силы – Давление – Состояние – Влияние – Реагирование» в течение периода с 2013 г. по 2023 г. Экологичность (СЗПЗ) оценивалась с помощью комплексного индекса, разработанного на основе системы показателей указанной модели и соответствующих им весовых коэффициентов, рассчитанных метода взвешивания информационной энтропии значений показателей. Комплексный индекс экологичности определялся методом таксонометрического показателя. Уровень экологичности идентифицировался согласно широко используемой классификации состояний организационно-технических систем, функционирование которых описывается фиксированным множеством показателей. Результатами исследования являются: разработка комплекса показателей компонентов модели «Движущие силы – Давление – Состояние – Воздействие – Реагирование», которые достаточно полно отражают воздействие экономической и социальной систем региона на экологическое состояние СЗПЗ. Установлено, что уровень экологичности

последней в интервале 2013 – 2023 г.г. в основном соответствует уровню IV «низкий», эпизодически поднимаясь до уровня III «средний» в 2013 г. и в 2016 г. Использование модели «Движущие силы – Давление – Состояние – Влияние – Реагирование» в совокупности с методами взвешенного оценивания энтропии весовых коэффициентов и таксонометрического показателя для оценки экологичности функционирования системы СЗПЗ позволяет осуществлять мониторинг экологической результативности функционирования данной системы.

Ключевые слова: очистка нефтезагрязненных земель, экологическая результативность, движущие силы – давление – состояние – воздействие – реагирование, метод таксонометрического показателя

Введение.

Нефтегазодобывающая отрасль (НГДО) является экологически опасной отраслью экономики, которая генерирует достаточно большое количество факторов давления на окружающую среду, в том числе и нефтезагрязнение промышленных земель региона нефтью, подтоварной водой и газовым конденсатом. Экологичность НГДО обусловлена экологической результативностью системы землепользования промышленными землями - лицензионными участками (СЗПЗ) в регионе. При этом одной из ключевых задач СЗПЗ является ликвидация образующихся нефтезагрязненных земель и их рекультивация. Традиционно экологическую результативность принято оценивать следующими индикаторами: площади нефтезагрязненных и очищенных/рекультивированных земель, количество образованных и ликвидированных шламовых амбаров, количество аварий на нефтепроводах и трубопроводах с подтоварной водой. Эти показатели фиксируются системой государственной статистики [1]. Реже используются статистические методы оценки [2]. Обозначенные методы не в полной мере учитывают взаимодействие СЗПЗ с нефтегазодобывающей отраслью, внешними организационно-техническими системами и их влияние на экологическую результативность рассматриваемой системы. Для подобного рода задач в настоящее время широко используется модель «Движущие силы – Давление – Состояние – Воздействие – Реакция» или DPSIR (Driving Force – Pressure – State – Impact – Response) [3,4]. Модель DPSIR представляет и описывает причинно-следственную цепочку движущих сил (DF), которые характеризуют основные потребности общества, рост населения, развитие экономики и ее отдельных отраслей и т. д. Для удовлетворения этих потребностей процессы в социально-экономической системе и деятельность человека могут генерировать, усиливать или смягчать давление (P) (например, эмиссия загрязняющих веществ) на окружающую среду. Давление влияет на физическое, химическое и/или биологическое состояние (S) окружающей природной

среды. Изменения окружающей среды оказывают воздействие (I) на экосистемы, здоровье человека и другие социально-экономические аспекты деятельности социума. Реагирование (R) включает действия, которые направлены смягчения давления и повышения качества состояния изменяющейся сложной внешней среды и могут быть нацелены на любой компонент модели [3,4]. Модель DPSIR достаточно активно применяется для оценки экологического состояния используемых в региональных социально-экономических системах типовых ресурсов [5,6,7]. В исследованиях, связанных с состоянием земельных ресурсов [8,9], основное внимание сосредоточено на анализе динамики экологического состояния сельскохозяйственных земель в контексте интенсивной урбанизации регионов. Проблематике ликвидации загрязнений индустриальных или промышленных земель отходами производств уделяется существенно меньшее внимание [10]. В данной работе представлены результаты оценки экологичности функционирования системы землепользования промышленными землями добычи углеводородов в Ханты – Мансийском автономном округе (ХМАО-Югра). Для этого региона тематика достаточно актуальная, т.к. с одной стороны, его природно – климатические условия значительно снижают естественные восстановительные возможности земель, а с другой стороны, в регионе осуществляется интенсивная добыча углеводородов и наличествуют достаточно большие площади нефтезагрязненных земель, образовавшиеся в периоды, когда решению экологических проблем региона не уделялось достаточно внимания.

Цель исследования. Оценка экологичности функционирования системы землепользования промышленными землями в Ханты – Мансийском автономном округе с использованием модели DPSIR в совокупности с методами взвешенного оценивания энтропии весовых коэффициентов и таксонометрического показателя за период с 2013 г. по 2023 г.

Материал и методы исследования.

Для оценки экологичности функционирования системы землепользования промышленными землями нефтедобывающего региона использовались модель DPSIR [3,5,9], которая представляет собой аналитический инструмент системной оценки и анализа взаимодействия человека и окружающей среды.

Модель DPSIR представляет собой аналитический инструмент системной оценки и анализа взаимодействия деятельности человека и окружающей среды.

Результирующим показателем данной модели является комплексный показатель или индекс (KI , KI) экологичности функционирования СЗПЗ нефтедобывающего региона. Расчетные значения KI соотносят со шкалой, диапазоны значений которой соответствуют определенному типу состояния, уровню развития или результативности, безопасности

функционирования исследуемой системы [9,11,12]. Выбор показателей компонентов модели DPSIR основывался на ее назначении и учитывал региональные особенности функционирования моделируемой СЗПЗ.

В таблице 1 совместно приведены

- компоненты модели DPSIR и соответствующие им показатели x_j ($j=1, \dots, J$), которые предлагается использовать для оценки экологичности функционирования СЗПЗ ХМАО-Югра;
- признак влияния показателей компонентов модели DPSIR на экологичность функционирования СЗПЗ ХМАО-Югра;
- расчетные значения весовых коэффициентов (БК) показателей и компонентов модели DPSIR, полученные методом взвешенного оценивания энтропии весовых коэффициентов [5,8,9].

Таблица 1.

Компоненты и модели DPSIR характеризующей экологичность функционирования системы землепользования промышленными землями ХМАО-Югра

Компонент модели DPSIR	БК компонента модели DPSIR	Показатель компонента модели DPSIR	Признак влияния x_j	БК показателя x_j
Движущие силы (Driving forces, DF)	0,1617	Объем добытой за год нефти, тыс. тонн. (DF1)	-	0,0403
		Действующий нефтяной фонд нефтяных скважин в регионе, шт. (DF2)	-	0,0392
		Построено новых трубопроводов для перекачки нефти и подтоварной воды, км. (DF3)	-	0,0417
		Ввод за год новых добывающих скважин, шт. (DF4)	-	0,0405
Давление (Pressure, P)	0,1841	Площадь нефтезагрязненных земель, образованных за год, га. (P1)	-	0,0408
		Количество шламовых амбаров на конец года в регионе, шт. (P2)	-	0,0516
		Площади	-	0,0492

		нефтезгрязненных земель при авариях на технологическом оборудовании, га (P3)		
		Количество аварий на трубопроводах для перекачки нефти и подтоварной воды, шт. (P4)	-	0,0425
Состояние (State, S)	0,2498	Среднегодовая площадь нефтезагрязненных земель, га. (S1)	-	0,0498
		Общее количество нефтяных скважин в регионе, шт. (S2)	-	0,0487
		Общая длина трубопроводов для перекачки нефти и подтоварной воды, км. (S3)	-	0,0500
		Доля неликвидированных на конец года шламовых амбаров от их общего количества в году, %. (S4)	-	0,0561
		Доля рекультивированных участков нефтезагрязненных земель, представленная к проверке и соответствующая экологическим требованиям, %. (S5)	+	0,0451
Воздействи е (Impact, I)	0,076	Доля несоответствующих экологическим требованиям рекультивированных участков	-	0,0281

		нефтезагрязненных земель, представленная к проверке, %. (I1)		
		Доля нерекультивированных нефтезагрязненных земель к общему объему нефтезагрязненных земель, %. (I2)	-	0,0224
		Доля неликвидированных на конец года шламовых амбаров от их общего количества в году, %. (I3)	-	0,0254
Реагирование (Response, R)	0,3284	Площадь рекультивированных нефтезагрязненных земель за год, га. (R1)	+	0,0545
		Текущие годовые затраты на восстановление нефтезагрязненных земель, тыс. руб. (R2)	+	0,0548
		Годовые затраты на ремонт ОПФ по восстановлению нефтезагрязненных земель, тыс. руб. (R3)	+	0,0548
		Доля инвестиций в основные фонды по восстановлению нефтезагрязненных земель от общих инвестиций в основные фонды по охране природных ресурсов региона %, (R4)	+	0,0563
		Количество шламовых амбаров	+	0,0540

		ликвидированных за год, шт. (R5)		
		Реконструировано трубопроводов для перекачки нефти и подтоварной воды, км. (R6)	+	0,0540

Общее количество показателей модели равно 22 ($J = 22$), количество показателей каждого компонента модели соответственно равно: $JDF = 4$, $JP = 4$, $JS = 5$, $JI = 3$, $JR = 6$.

Для расчета ВК используются субъективные и объективные методы. К первым относят иерархический анализ процессов (АНР) [13], а ко вторым метод взвешивания информационной энтропии показателей (МВИЭП) [5,8,9]. МВИЭП позволяет минимизировать влияние субъективных факторов на результаты оценки значений ВК, что обуславливает его широкое признание и использование при решении подобного рода задач. Перед применением МВИЭП показатели нормализуют, чтобы сделать их значения сопоставимыми. Методов нормализации достаточно много [2,4,14], но в данной работе используется метод экстремальных значений, который также достаточно широко используется в различных исследованиях. Показатели модели DPSIR $x_j(t)$ ($j = 1, \dots, J$) для каждого момента времени t интервала $[t_0, T]$ нормализуются с учетом признака влияния показателя на экологичность функционирования СЗПЗ округа (таблица 1):

- показатели, оказывающие положительное влияние:

$$r_j(t) = \frac{x_j(t) - x_{\min_j}}{x_{\max_j} - x_{\min_j}}; x_{\max_j} = \max_{t=t_0}^T(x_j(t)); x_{\min_j} = \min_{t=t_0}^T(x_j(t)); \quad (1)$$

- показатели, оказывающие негативное влияние:

$$r_j(t) = \frac{x_{\max_j} - x_j(t)}{x_{\max_j} - x_{\min_j}}. \quad (2)$$

Реализация МВИЭП включает следующие процедуры [5,8,9]:

1. Определяется информационная энтропия j -го показателя модели DPSIR:

$$e_j = -\frac{1}{J} \sum_{t=t_0}^T [R_j(t) \cdot \ln R_j(t)]; R_j(t) = \frac{r_j(t)}{\sum_{t=t_0}^T r_j(t)}; \quad (3)$$

При $R_j(t) = 0 \rightarrow \ln R_j(t) = 0$.

2. Рассчитывается весовой коэффициент - ВК (W_j) j -го показателя модели DPSIR:

$$W_j = \frac{1 - e_j}{J - \sum_{j=1}^J (e_j)}; \sum_{j=1}^J W_j = 1; 0 < W < 1. \quad (4)$$

3. Определяются весовые коэффициенты компонентов модели DPSIR:

$$WDF = \sum_{j=1}^{JDF} W_j; WP = \sum_{j=1}^{JP} W_j; WS = \sum_{j=1}^{JS} W_j; WI = \sum_{j=1}^{JI} W_j; WR = \sum_{j=1}^{JR} W_j. \quad (5)$$

Метод таксонометрического показателя (МТП) [2,16] реализуется по следующему алгоритму.

1. Строится матрица взвешенных показателей DPSIR, элементы которой определяются зависимостью:

$$Y_j(t) = W_j \cdot Z_j(t); Z_j(t) = \frac{z_j(t)}{\sqrt{\sum_{t=t_0}^T z_j^2(t)}}. \quad (6)$$

Здесь $z_j(t) = x_j(t)$, если признак влияния j -го показателя модели DPSIR (таблица 1) на экологичность СЗПЗ положительный; $z_j(t) = [x_j(t)]^{-1}$, если признак влияния соответствующего показателя негативный.

2. Величины $Y_j(t)$ в МТП определяют «системы с эталонным уровнем экологичности функционирования». Состояние – эталон (верхний полюс) и состояние – антиэталон (нижний полюс), которые описываются наилучшими и наихудшими значениями взвешенных показателей (6) соответственно [2,16]:

- верхний полюс

$$Y_j^+(t) = \left\{ \max Y_j(t) \mid t = t_0, \dots, T \right\} = \left\{ \max Y_j(t) \mid Y_1^+(t), \dots, Y_J^+(t) \right\}. \quad (7)$$

- нижний полюс

$$Y_j^-(t) = \left\{ \min Y_j(t) \mid t = t_0, \dots, T \right\} = \left\{ \min Y_j(t) \mid Y_1^-(t), \dots, Y_J^-(t) \right\}. \quad (8)$$

3. Рассчитывается евклидово расстояние от положения рассматриваемой системы СЗПЗ, т.е. совокупности $Y_j(t)$ (6), до верхнего (7) и нижнего полюсов (8) для момента времени « t » [2, 16]:

- расстояние до верхнего полюса

$$D_j^+(t) = \sqrt{\sum_{j=1}^J (Y_j^+(t) - Y_j(t))^2} \quad (9)$$

- расстояние до нижнего полюса

$$D_j^-(t) = \sqrt{\sum_{j=1}^J (Y_j^-(t) - Y_j(t))^2} \quad (10)$$

4. Для момента времени « t » рассчитывается количественная оценка комплексного индекса экологичности $KI(t)$ рассматриваемой СЗПЗ:

$$KI(t) = \frac{D_j^-(t)}{D_j^+(t) + D_j^-(t)} \quad (11)$$

Расчетные значения $KI(t)$ соотносят с классификационной шкалой, предложенной в работах [9,11,12], диапазоны значений которой

соответствуют определенному типу состояния, уровня развития, безопасности или результативности функционирования рассматриваемой системы. Эта классификация ориентирована на дифференциацию состояний больших эколого-экономически и социальных систем, для описания которых используется некоторый набор показателей.

Таблица 2

Уровни экологичности функционирования системы землепользования промышленными землями ХМАО-Югра [9,11,12]

Индекс экологичности	Уровни экологичности				
	Крайне низкий (V)	Низкий (IV)	Средний (III)	Достаточно высокий (II)	Очень высокий (I)
$KI(t)$	(0 – 0,2]	(0,2 – 0,4]	(0,4 – 0,6]	(0,6 – 0,8]	(0,8 – 1]

Источниками значений показателей модели DPSIR (таблица 1) являлись следующие ежегодно публикуемые издания: Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений ХМАО-Югра [15], Бюллетени Росстата РФ об охране окружающей среды. «Сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды» [16], Отчеты Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) «Информация по рекультивации земель» [17].

Результаты исследования и их обсуждение

Упорядочение расчетных значений ВК (4) компонентов модели DPSIR (таблица 1) имеет вид «R» > «S» > «P» > «DF» > «I». Величина ВК «R» почти в 5 раз больше ВК «I», в два раза больше ВК «DF», более чем в 1,6 раза больше, чем ВК «P» и на 40 % больше значения ВК «S». Таким образом, для оценок экологичности рассматриваемой СЗПЗ наиболее значимы компоненты «Реагирование» и «Состояние». Компонент «Реагирование» оказывает положительное влияние на экологичность, влияние же компонента «Состояние» негативное, но уступающее по значимости. Компонент «Воздействие» наименее значим, т.к. его ВК незначителен, что нивелирует его негативное влияние на расчетные значения $KI(t)$ (11) СЗПЗ. На рисунке 3 приведены расчетные значения комплексного индекса $KI(t)$ (11) функционирования рассматриваемой СЗПЗ и соответствующие им классификационные уровни (таблица 2) ХМАО-Югра в период с 2013 г. по 2023 г. Экологичность функционирования СЗПЗ ХМАО-Югра в наблюдаемом временном интервале характеризуется в основном уровнем IV «низкий», эпизодически поднимаясь до уровня III «средний» в 2013 г. и в 2016 г. Наблюдаемый «низкий» уровень экологичности функционирования рассматриваемой СЗПЗ обусловлен, с одной стороны, стабильным и достаточно высоким уровнем добычи углеводородов в регионе и, как следствие, устойчивым

образованием нефтезагрязненных земель, а, с другой стороны, значительными накопленными площадями таких земель за длительный период времени нефтедобычи в регионе, когда решению экологических вопросов их очистки и рекультивации не уделялось достаточного внимания со стороны недропользователей и администрации округа.

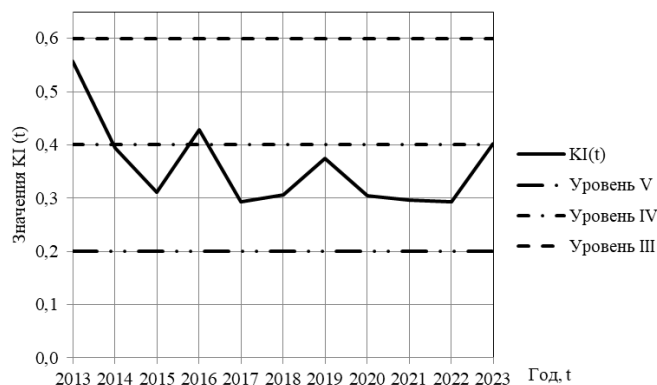


Рисунок 1. Расчетные значения комплексного индекса $KI(t)$ и соответствующие уровни экологичности функционирования СЗПЗ ХМАО-Югра в период с 2013 г. по 2023 г.

Выводы и заключение

Разработанный комплекс показателей и компонентов модели DPSIR для оценки экологичности функционирования СЗПЗ в Ханты – Мансийском автономном округе - Югра в целом достаточно полно отражает механизмы ее взаимодействие с социально-экономической системой региона. Расчетные значения весовых коэффициентов показателей и компонентов модели использовались для определения комплексного индекса экологической результативности, методом таксономического показателя. Значения $KI(t)$ сопоставлялись с широко используемой классификацией состояний сложных организационно-технических систем, функционирование которых описывается некоторым множеством показателей. Это позволило установить, что экологическая результативность функционирования СЗПЗ в ХМАО-Югра в интервале с 2013 г. по 2023 г. характеризуется в основном уровнем IV «низкий», эпизодически поднимаясь до уровня III «средний» в 2013 г. и в 2016 г. На рост значений $KI(t)$ наибольшее влияние оказывает компоненты «Реагирование», «Давление» и «Воздействие» модели DPSIR. Остальные компоненты в целом нейтральны по отношению к $KI(t)$. Таким образом, комплексное применение модели DPSIR, МВИЭП и МТП для оценки экологичности функционирования системы землепользования промышленными землями в Ханты – Мансийском автономном округе, которая описывается определенным набором компонентов и соответствующих им показателей, позволяет решить задачу мониторинга экологической результативности использования определенного вида природных ресурсов.

Список литературы

1. Письмо Роскомзема от 29.07.1994 N 3-14-2/1139 «О Методике определения размеров ущерба от деградации почв и земель» [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7929/ (дата обращения: 07.08.2025).
2. Кутышкин А.В. Статистическая оценка функционирования региональных систем очистки земель, загрязненных отходами производства, в арктических регионах России // Успехи современного естествознания. 2024. № 7. С. 21-26.
3. Folkens, L., Bachmann D., Schneider P. Driving Forces and Socio-Economic Impacts of Low-Flow Events in Central Europe: A Literature Review Using DPSIR Criteria // Sustainability. 2023. Vol. 15. P. 10692.
4. Зомонова Э.М., Зандакова А.Б. Методы анализа в концептуальной структуре DPSIR. Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. 2011. Т.4. №3. С. 52 - 61.
5. Zhao M., Wei J., Han Y., Shi J., Wang S. Water resource security evaluation and barrier analysis in Henan Province utilizing the DPSIR framework // Front. Environ. Sci. 2024. Vol. 12. P. 1354175.
6. Xu J., Wang H., Li Z. Evaluation of the Provincial Carbon Neutrality Capacity of the Middle and Lower Yellow River Basin based on the Entropy Weight Matter-Element Model // Energies. 2022. Vol. 15. P. 7600.
7. Xu J., Yu Q., Hou X. Sustainability Assessment of Steel Industry in the Belt and Road Area Based on DPSIR Model // Sustainability. 2023. №. 15. P. 11320.
8. 11. Yupei Du., Wenju Wang., Qian Lu., Ziyang Li. A DPSIR-TODIM Model Security Evaluation of China's Rare Earth Resources // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17. P. 7179.
9. Nan He., Yong Zhou., Li Wang., Qing Li., Qian Zuo., Jingyi Liu., Mengyao Li. Spatiotemporal evaluation and analysis of cultivated land ecological security based on the DPSIR model in Enshi autonomous prefecture, China// Ecological Indicators. 2022. Vol. 145. P. 109619.
10. Горохова И. В., Архипова Л. С. Восстановление нарушенных земель как фактор экологической безопасности// Вестник Алтайской академии экономики и права. 2023. № 9. С. 29 – 35.
11. Zhang L., Peng W., Zhang J. Assessment of Land Ecological Security from 2000 to 2020 in the Chengdu Plain Region of China // Land. 2023. Vol. 12. P. 1448.
12. Алферова Т. В. Теоретико-методологический базис измерения устойчивого развития региональных систем // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2022. Т. 17, № 3. С. 304–320.
13. Саати Т. Л. Принятие решений с помощью метода анализа иерархий // Методы менеджмента качества. 2022. № 7. С. 54 – 60

14. Горбунов В.С., Шорохов С.И. Как построить рейтинг? Построение рейтинга регионов России таксонометрическим методом // Региональная экономика: теория и практика. 2023. Т. 21, № 6. С. 1006 – 1019.
15. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений ХМАО-Югра [Электронный ресурс]. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/> (дата обращения: 14.08.2025).
16. Бюллетени об охране окружающей среды (электронные версии). «Сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (дата обращения: 12.08.2025).
17. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). Отчет по форме федерального статистического наблюдения №2-ТП (рекультивация) [Электронный ресурс]. URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/land-recultivation/> (дата обращения: 18.07.2025).

References

1. Letter of the Federal Service for State Land Resources dated July 29, 1994 No. 3-14-2/1139 “On the Methodology for Determining the Amount of Damage from Soil and Land Degradation” [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7929/ (date accessed: August 7, 2025).
2. Kutyshkin A.V. Statistical assessment of the functioning of regional systems for cleaning up lands contaminated with industrial waste in the Arctic regions of Russia // Advances in modern natural science. 2024. No. 7. P. 21-26.
3. Folkens, L., Bachmann D., Schneider P. Driving Forces and Socio-Economic Impacts of Low-Flow Events in Central Europe: A Literature Review Using DPSIR Criteria // Sustainability. 2023. Vol. 15. P. 10692.
4. Zomanova E.M., Zandakova A.B. Methods of analysis in the conceptual structure of DPSIR. Problem analysis and public administration design. 2011. Vol.4. No.3. P. 52-61.
5. Zhao M., Wei J., Han Y., Shi J., Wang S. Water resource security evaluation and barrier analysis in Henan Province utilizing the DPSIR framework // Front. Environ. Sci. 2024. Vol. 12. P. 1354175.
6. Xu J., Wang H., Li Z. Evaluation of the Provincial Carbon Neutrality Capacity of the Middle and Lower Yellow River Basin based on the Entropy Weight Matter-Element Model // Energies. 2022. Vol. 15. P. 7600.

7. Xu J., Yu Q., Hou X. Sustainability Assessment of Steel Industry in the Belt and Road Area Based on DPSIR Model // Sustainability. 2023. №. 15. P. 11320.
8. Yupei Du., Wenju Wang., Qian Lu., Ziyang Li. A DPSIR-TODIM Model Security Evaluation of China's Rare Earth Resources // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17. P. 7179.
9. Nan He., Yong Zhou., Li Wang., Qing Li., Qian Zuo., Jingyi Liu., Mengyao Li. Spatiotemporal evaluation and analysis of cultivated land ecological security based on the DPSIR model in Enshi autonomous prefecture, China// Ecological Indicators. 2022. Vol. 145. P. 109619.
10. Gorokhova I. V., Arkhipova L. S. Restoration of disturbed lands as a factor of environmental safety // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2023. No. 9. Pp. 29–35.
11. Zhang L., Peng W., Zhang J. Assessment of Land Ecological Security from 2000 to 2020 in the Chengdu Plain Region of China // Land. 2023. Vol. 12. P. 1448.
12. Alferova T. V. Theoretical and methodological basis for measuring sustainable development of regional systems // Bulletin of Perm University. Series "Economics". 2022. Vol. 17, No. 3. Pp. 304–320.
13. Saati T. L. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process // Quality Management Methods. 2022. No. 7. P. 54–60.
14. Gorbunov V.S., Shorokhov S.I. How to Build a Rating? Building a Rating of Russian Regions Using the Taxonomic Method // Regional Economics: Theory and Practice. – 2023. Vol. 21, No. 6. P. 1006–1019.
15. Report on the environmental situation in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra. Service for Control and Supervision of Environmental Protection, Wildlife, and Forestry of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra [Electronic resource]. URL: [https:// prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/](https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/) (date accessed: 14.08.2025).
16. Environmental Protection Bulletins (Electronic Versions). "Information on Current Environmental Protection Expenditures" [Electronic Resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (date accessed: 12.08.2025).
17. Federal Service for Supervision of Natural Resource Usage (Rosprirodnadzor). Report on Federal Statistical Monitoring Form No. 2-TP (Reclamation) [Electronic resource] URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/land-recultivation/> (date accessed: 18.07.2025).