

Геоинформационная система мониторинга экологической ситуации в ЯНАО

Н. И. Куракина¹, А. Д. Кузьмина²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹nkurakina@gmail.com, ²97-kuzya@mail.ru

Аннотация. Разработана информационная основа системы мониторинга состояния природных объектов ЯНАО на базе ГИС ArcGIS for Desktop. Проведен анализ изменения экологической ситуации в пространстве и времени, построены интегральные характеристики. Осуществлена оценка экологических рисков предприятий нефтегазовой отрасли, являющихся основными источниками неблагоприятной экологической ситуации в регионе.

Ключевые слова: мониторинг; оценка экологической ситуации; ГИС; риски; ЯНАО

I. ВВЕДЕНИЕ

Ямало-Ненецкий автономный округ – один из крупнейших субъектов Арктической зоны Российской Федерации. Большая часть его территории расположена за полярным кругом. Регион занимает одно из ведущих мест в России по запасам углеводородов, особенно природного газа и нефти. Здесь же реализуются важнейшие для государства инфраструктурные проекты, наиболее значимые из которых – промышленное освоение полуострова Ямал и прилегающих акваторий, включая Бованенковское нефтегазоконденсатное и Южно-Тамбейское месторождения, создание газотранспортной системы нового поколения, железнодорожной магистрали «Северный широтный ход», морского порта Сабетта, нефтепровода Пурпе – Сомотлор.

Промышленное освоение ресурсов Крайнего Севера и Арктики не может проходить без учёта данных о текущей экологической ситуации, внедрения современных информационных технологий, направленных на снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду и защиту здоровья населения [1].

Целью данной работы является разработка геоинформационной системы мониторинга состояния природных объектов ЯНАО, систематизация результатов наблюдения в единой информационной среде, анализ и наглядное отображение экологической ситуации на карте для выявления наиболее опасных очагов загрязнения и поиска потенциальных нарушителей. Объектом изучения являются крупные реки округа, исследование основывается на показателях загрязнённости в период с 2010 по 2015 год.

II. ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Информационная основа системы мониторинга базируется на двух базах геоданных (БГД), включающих в себя топографическую карту и данные мониторинга [2].

Топографическая карта содержит все данные об округе, включая сведения о ландшафтах, природных ископаемых, заповедных зонах, инфраструктуре, дорогах, границах и других объектах округа (рис. 1).

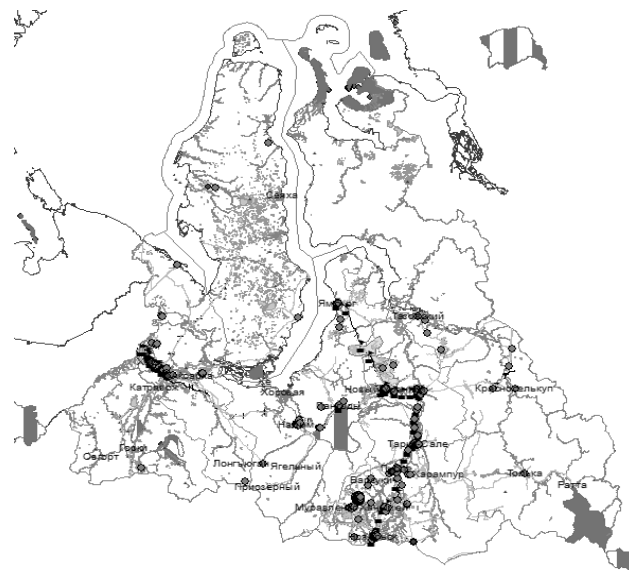


Рис. 1. Топооснова системы мониторинга в ГИС

База геоданных мониторинга включает слой пунктов наблюдения, базу результатов контроля и нормативную базу.

Наблюдения за загрязнением поверхностных вод на территории Ямало-Ненецкого автономного округа осуществляются ФГБУ «Ямало-Ненецкий центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» на 13 реках (16 створах, 21 вертикали).

Данные натурных наблюдений были получены в виде протоколов наблюдений в форматах Word, Excel и представляли собой таблицы различного вида. Для оптимальной конвертации и добавления в БГД, их необходимо было предварительно подготовить, а именно:

в названии полей удалить пробелы, нестандартные символы (например, знак дроби) заменить на нижнее подчеркивание, все названия перезаписать латиницей. После этого таблицы, содержащие XY-координаты пунктов наблюдения, были конвертированы в классы пространственных объектов БГД мониторинга с соблюдением единой системы координат и разработанной ранее структуры атрибутивных данных.

Каждый пункт наблюдения характеризуется вектором параметров:

$WPost = \{Name, Number, District, N_St, Category, Type, Description, Distance, System\}$,

где *Name* – наименование поста, *Number* – код поста, *District* – водный объект, *N_St* – количество створов, *Category* – категория, *Type* – принадлежность, *Description* – описание, *Distance* – расстояние от устья, *System* – сеть наблюдений (государственная, территориальная). На карте слой пунктов наблюдений отображается принятыми условными знаками, в зависимости от типа наблюдательной сети.

База результатов контроля содержит данные гидрохимических наблюдений и характеризуется вектором параметров:

$WCons = \{Number, Date, District, Dir_Wind, Speed_Wind, Temperat, Moisture, Pressure, Horizont, Ci\}, i \in N$,

где *Number* – код поста наблюдения, *Date* – дата измерения, *District* – водный объект, *Dir_Wind* – направление ветра, *Speed_Wind* – скорость ветра, *Temperat* – температура, *Moisture* – влажность, *Pressure* – давление, *Horizont* – уровень горизонта, *Ci* – значение концентрации, *N* – количество измеряемых параметров.

Справочник вредных веществ представляет собой нормативную базу со значениями предельно-допустимых концентраций:

$WPdk = \{Parametr, Abr_Par, Cl_Danger, PDK_Drink, PDK_Fish, LPV_Drink, LPV_Fish\}$,

где *Parametr* – полное наименование параметра, *Abr_Par* – его аббревиатура, *Cl_Danger* – класс опасности, *PDK_Drink* – ПДК хозяйственно-питьевой категории водопользования, *PDK_Fish* – ПДК рыбохозяйственной категории водопользования, *LPV_Drink* – лимитирующий признак вредности (ЛПВ) хозяйственно-питьевой категории, *LPV_Fish* – ЛПВ рыбохозяйственной категории.

III. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ

Для оценки загрязненности поверхностных вод исследуется динамика изменения концентраций во времени, рассчитываются нормированные характеристики, определяются оценки по заданному перечню параметров:

$$O^* = \{C^*i, Date, District, PDK\}, i \in N, \quad (1)$$

где *Ci* – значение концентрации, *Date* – дата измерения, *District* – анализируемый объект, *PDKi* – значение ПДК, *N* – количество измеряемых параметров.

Для визуализации гидрохимического состояния сформирован ряд ГИС проектов и построены диаграммы изменения нормированных характеристик в пространстве и времени. Создана выборка из 7 центральных рек ЯНАО: Обь, Таз, Пур, Пяку-Пур, Полуй, Правая Хетта и Седэ-Яха, по течению которых было произведено 13 замеров около крупных нефтегазовых месторождений и близ лежащих населенных пунктов. По площади бассейна реки Обь, Таз и Пур являются крупнейшими среди рек Ямало-Ненецкого автономного округа и входят в 20 крупнейших рек России.

Характерными загрязняющими веществами для рек автономного округа являются соединения железа, меди, цинка, марганца, нефтепродукты, аммиак, фенолы, кроме того наблюдаются случаи дефицита растворенного в воде кислорода. Такие вещества, как марганец и железо поступают в поверхностные воды путем выщелачивания железомарганцевых руд, содержание этих веществ в поверхностных водах автономного округа в большей степени объясняется природным происхождением, но эксплуатация нефтегазовых месторождений существенно увеличивает содержание нефтепродуктов.

На рис. 2 представлена среднегодовая нормированная характеристика концентрации железа за 2011 г., превышающая ПДК в 12–26 раз. Наибольшее загрязнение наблюдается в районе реки Пур.

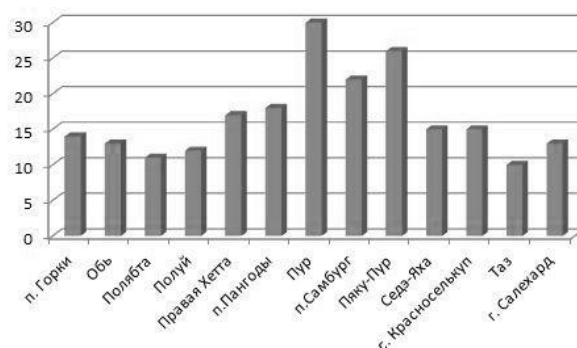


Рис. 2. Пространственная динамика изменения концентрации железа

В бассейне реки Пур расположены Уренгойское газовое и Губкинское нефтегазовое месторождения, существенно влияющие на состояние реки.

Временная динамика загрязнений металлами реки Пур в районе поселка Уренгой представлена на рис. 3.

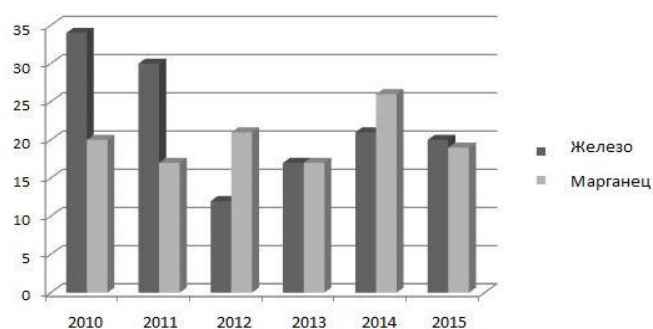


Рис. 3. Временная динамика изменения загрязнения на реке Пур

По графику видно, что, несмотря на колебания концентраций тяжелых металлов в водах, картина остается стабильно плохой.

IV. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ

С учетом того, что различные экологические факторы действуют комплексно и обладают эффектом «суммации», осуществляется расчет интегральных оценок:

$$S^* = \sum_i [O_i^*, Date, District, PDK_i], i \in I_s, \quad (2)$$

где O_i – простая оценка, входящая в множество важных характеристик I_s , определяемых стандартными методиками [3].

Для оценки качества поверхностных вод использованы комплексные показатели степени загрязненности, позволяющие оценить загрязненность воды одновременно по широкому перечню ингредиентов и показателям качества воды, классифицировать воду по степени загрязненности:

- Кк – коэффициент комплексности загрязненности вод (отношение числа загрязняющих веществ, содержание которых превышает принятые в РФ предельно допустимые концентрации, к общему числу нормируемых веществ, он увеличивается от 1 до 100% по мере ухудшения качества воды);
- Квз – коэффициент комплексности высокой загрязненности вод;
- Кэвз – коэффициент комплексности экстремально высокой загрязненности вод;
- УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязнения вод.

Наиболее информативными комплексными оценками загрязненности вод являются УКИЗВ и класс качества воды. Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды. Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ, позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности: 1-й класс – условно чистая, 2-й класс – слабо загрязненная, 3-й класс – загрязненная, 4-й класс – грязная, 5-й класс – экстремально грязная [4].

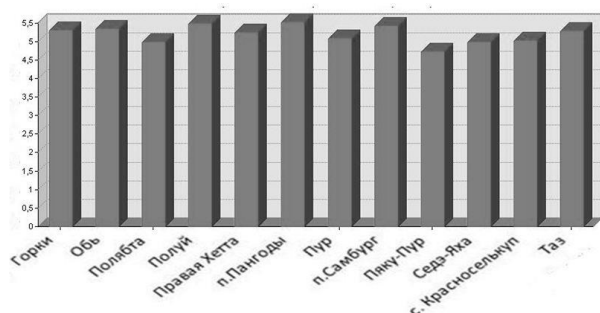


Рис. 4. Пространственная динамика изменения УКИЗВ за 2015 г.

Из результатов (рис. 4) видно, что качество воды в реках ЯНАО определяется 4-м классом разрядом «а» (грязная) и 3 классом, разряд «б» (очень загрязненная).

V. ВЫЯВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

На химический состав рек существенное влияние оказывает антропогенный фактор, связанный с активным промышленным освоением автономного округа, в частности – с разработкой нефтегазоконденсатных месторождений. Наблюдение за выбросами вредных веществ в водные объекты ЯНАО особенно важно, поскольку воды рек Западной Сибири обладают значительно меньшей способностью к самоочищению (70–90% сбрасываемых вод в водные объекты недостаточно очищенные). Ежегодно в Ямальных водах увеличивается содержание нефтепродуктов, металлов и синтетических поверхностно-активных веществ.

Интенсивное освоение месторождений влечет за собой устойчивые отрицательные изменения: сброс неочищенных сточных вод, загрязнение грунтовых вод, утечки нефтепродуктов, увеличение выбросов в атмосферу и разрушение почв – эти факторы неминуемо приводят к увеличению вероятности чрезвычайных ситуаций.

Любое превышение допустимого уровня загрязнения регулируется законодательством: контролирующие органы ограничивают или приостанавливают деятельность экологически опасных производств, а на стадиях принятия решений допустимый экологический риск оценивают с помощью государственной экологической экспертизы. Экологический риск присутствует на любом предприятии, однако регионы, где во много раз превышены вероятность проявления негативных изменений в экосистемах и истощения природно-ресурсного потенциала, получили название зон повышенного экологического риска.

Степень риска R определяется через функционал F_R , связывающий вероятность P возникновения неблагоприятного события и тяжесть ущерба U от этого неблагоприятного события:

$$R = F_R\{U, P\}.$$

Для получения комплексной оценки риска необходимо привести значения показателей ущерба к единой дискретной шкале оценок. Разработанная пятиуровневая шкала включает следующие показатели ущерба:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\},$$

где u_1 – незначительный, u_2 – малый, u_3 – средний, u_4 – большой, u_5 – катастрофический. Определение показателей ущерба основывается на анализе факторов их вызывающих. В случае количественной оценки производится измерение концентраций загрязняющих веществ, нормирование оценок в соответствии с функционалом нормирования величин (1) или определение интегральных показателей (2). Оценка экологического состояния приводится к шкале показателей ущерба.

Вероятность наступления опасного события и возникновения ущерба определяется на основе статистических данных или анализируется экспертом. Пятиуровневая шкала уровня вероятности возникновения ущерба включает следующие показатели:

$$P=\{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\},$$

где p_1 – практически исключено, p_2 – маловероятно, p_3 – вероятно, p_4 – возможно, p_5 – неизбежно.

p_5	r_3	r_4	r_4	r_5	r_5
p_4	r_2	r_3	r_4	r_4	r_5
p_3	r_1	r_2	r_3	r_4	r_4
p_2	r_1	r_1	r_2	r_3	r_4
p_1	r_1	r_1	r_1	r_2	r_3
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5

Рис. 5. Матрица риска

Оценка экологического риска осуществляется по видам ущерба в соответствии с диаграммой «Вероятность события/Последствия события». Матрица риска показывает зависимость уровня (категории) риска от соотношения вероятности события и тяжести ущерба (рис. 5). В зависимости от полученного значения оценки введены следующие категории рисков:

$$R=\{r_1, r_2, r_2, r_4, r_5\},$$

где r_1 – незначительный риск, r_2 – малый риск, r_3 – средний риск, r_4 – высокий риск, r_5 – катастрофический риск.

Территориальная система Ямало-Ненецкого автономного округа представляется в виде множества взаимодействующих слоев – носителей загрязнений [5].

В зависимости от характеристик, объема добычи, состояния месторождения и статистических данных о произошедших авариях определяется зона экологического риска.

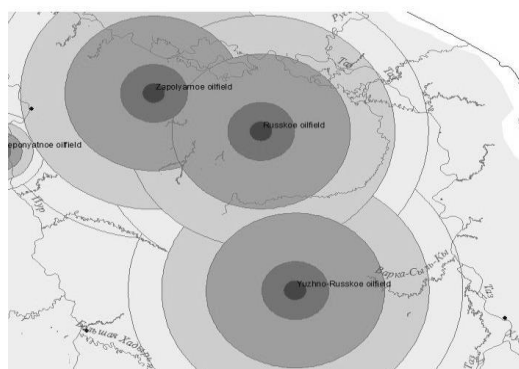


Рис. 6. Зоны экологического риска на реке Таз

Например, по построенным зонам риска (рис. 6) на карте наглядно видно, что река Таз находится в зоне катастрофического риска. Если обратиться к числовым данным, то концентрации тяжелых металлов в этих водах превышают ПДК в 62 раза, что представляет собой максимальное превышение относительно других рек.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная оценка экологического риска и картографирование критических нагрузок в ГИС позволяет определить зоны, наиболее чувствительные к поступлению загрязняющих веществ, оценить опасность любой намечаемой или осуществляемой деятельности, спланировать мероприятия по устойчивому развитию природоохранных зон ЯНАО и вовремя принять меры во избежание непоправимых последствий.

Внедрение ГИС в полной мере реализует возможность обобщенного и целостного взгляда на проблемы окружающей среды и экологии. Применение ГИС-технологий для ведения мониторинга и оценки экологического риска наглядно демонстрирует состояние объектов и распространение загрязняющих факторов, позволяет получить объективную оценку экологической обстановки и спрогнозировать развитие загрязнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бельдеева Л.Н. Экологический мониторинг. Барнаул: АлтГТУ, 1999. 122 с.
- [2] Куракина Н.И., Габидинова А.Р. Оценка экологического состояния территории на основе геоинформационной модели // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2014. № 3 (34). С. 55-62.
- [3] Куракина Н.И., Микушина В.Н. Методика ведения мониторинга водных объектов на базе геоинформационных технологий // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2010. № 8. С. 85-88.
- [4] Емельянова В.П., Лобченко Е.Е. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 49 с.
- [5] Куракина Н.И. Вопросы оценки экологических рисков в Арктическом регионе // Россия в глобальном мире. 2016. № 9 (32). С. 298-306.