

УДК 519.872:504.064.3

ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАСТЕКАНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЮ НЕФТЯНОГО ПЯТНА НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Ю.Ю. Гончаренко, к.т.н., О.В. Матузаева, к.т.н., доц.,
С.А. Чернявская, к.ф.-м.н., доц.**

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Рассматриваются факторы, характеризующие состояние приповерхностных слоев морской водной среды, а именно: температура, соленость, плотность воды, скорость течения, степень волнения и их воздействие на процессы растекания и трансформации нефтяного пятна. Предлагаются различные варианты физических моделей, которые можно применять для различных районов Черного моря в зависимости от гидрометеорологической обстановки.

Введение

Защита окружающей природной среды, обеспечение ее экологической безопасности – одна из составляющих частей национальной безопасности нашего государства [1]. Применительно к акватории Черного моря – это постоянный контроль состояния морских вод и предотвращение их загрязнения, в первую очередь нефтепродуктами [2], которое происходит, как правило, вследствие двух факторов. Первый – это результат аварий и катастроф, происходящих с судами, морскими буровыми платформами, а также нефтяными терминалами, расположенными на побережье [3, 4]. Второй фактор – это умышленный сброс нефтесодержащих вод (например, после промыва нефтяных танков или осушения трюмов) [5, 6].

Попавшие в воду нефтепродукты растекаются на поверхности и мигрируют под действием приводного ветра и поверхностных течений, поражая заповедные прибрежные зоны, пляжи и места массового отдыха граждан [7]. Такие события относятся к экологическим чрезвычайным ситуациям, воздействующим на Черноморскую флору и фауну, изменяющим повседневный режим рекреационных зон и гидрофизические характеристики водной среды [8, 9].

Анализ экологических чрезвычайных ситуаций, вызванных разливом нефтепродуктов, показывает, что наиболее эффективная ликвидация последствий производится в тех случаях, когда кроме достоверной информации об источнике и масштабах загрязнения имеется прогноз о развитии, распространении и трансформации нефтяного пятна [9, 10]. Точность прогноза определяется совершенством модели, описывающей процессы растекания и трансформации пятна, а совершенство модели зависит от полноты учета физических факторов.

Постановка цели и задач научного исследования

Цель данной работы состоит в изучении физических факторов, определяющих растекание и трансформацию нефтяного пятна на водной поверхности, и оценке возможности их метеорологической регистрации и последующего учета в прогностических расчетах.

Для достижения поставленной цели необходимо, во-первых, проанализировать и выделить конечное множество физических факторов, определяющих растекание и трансформацию нефтяного пятна на водной поверхности, во-вторых, оценить возможности метрологической регистрации этих факторов в пределах Черноморского бассейна, в-третьих, разработать качественную модель развития нефтяного загрязнения на водной поверхности Черного моря.

Физические факторы, определяющие растекание и трансформацию нефтяного пятна

В общем случае растеканию нефтяного пятна на водной поверхности способствует взаимодействие двух взаимно направленных сил: силы атмосферного давления $P_{ат}$ и силы плавучести $P_{арх}$. Результат их взаимодействия – горизонтальное растекание пятна, то есть уменьшение его толщины h и увеличение его площади S . Большинство гипотез о растекании пятна, начиная с В.В. Шулейкина, исходят из того, что скорость его растекания или степень уменьшения его толщины является константой при постоянстве всех других условий.

Степень уменьшения толщины пятна показана на рис. 1, то есть через равные промежутки времени Δt на моменты t_1, t_2, t_3 толщина пятна будет уменьшаться в одно и то же количество раз, например в 2 раза. Тогда на момент времени t она будет равна $0,5h_0$, на моменты t_2 и t_3 – $0,25h_0$ и $0,125h_0$ соответственно.

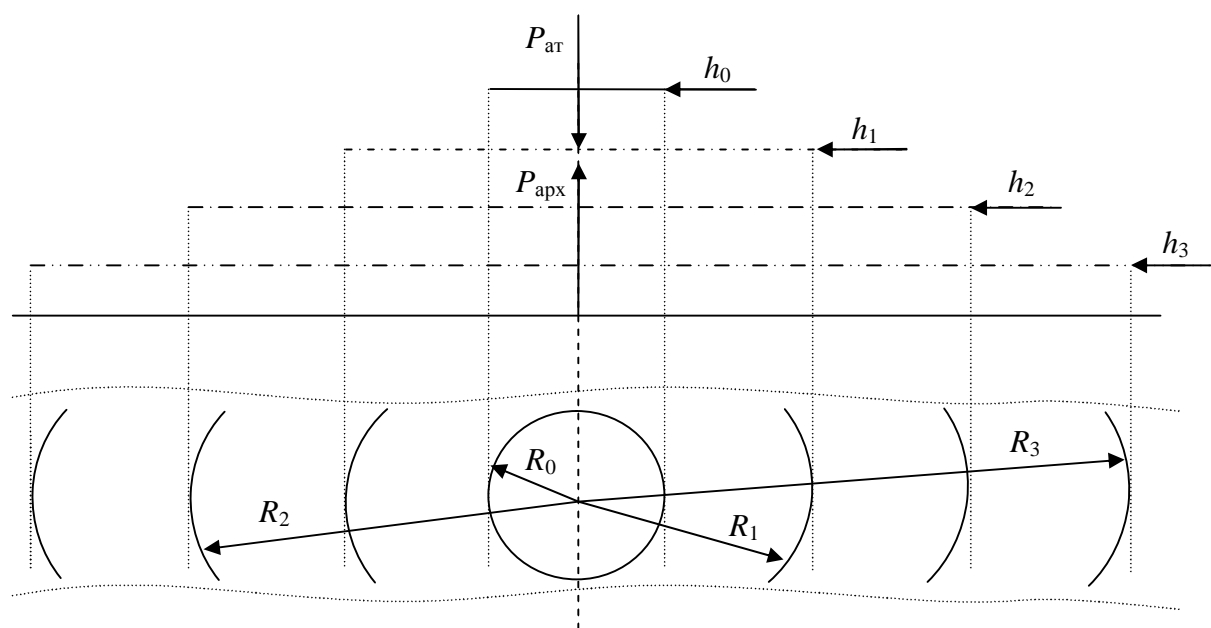


Рис. 1. Схема уменьшения толщины пятна на водной поверхности

Чем больше величина сил атмосферного давления и плавучести, тем выше степень растекания. Первая сила определяется атмосферным давлением, зависящим от термобарических характеристик атмосферы, вторая – разностью плотностей водной среды и нефтепродукта, зависящих от термохалинных параметров водной среды и физико-химических свойств нефтепродукта.

На растекание нефтяного пятна воздействует приводный ветер, вызывающий его дрейф. В общем случае направление дрейфа пятна на поверхности отличается от на-

правления вектора ветра на угол, определяемый широтой места, вследствие действия силы Кориолиса, вызванной вращением планеты Земля вокруг своей оси. Рассмотрим действие силы дрейфа $F_{др}$ на различные фрагменты нефтяного пятна (рис. 2).

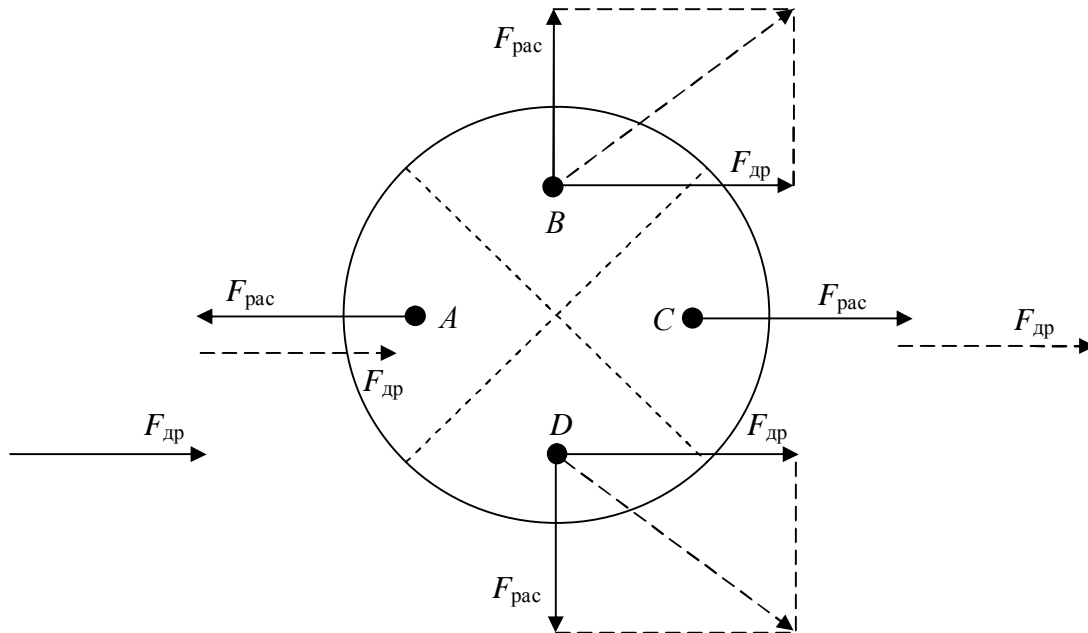


Рис. 2. Схема воздействия дрейфа на сегменты пятна

Каждый фрагмент нефтяного пятна растекается под действием сил атмосферного давления и плавучести. Пусть результатом этого взаимодействия является сила растекания $F_{рас}$, приложенная к центрам сегментов пятна. Тогда в точке A (наветренный сегмент) сила растекания будет уменьшена на величину силы дрейфа и составит $F_{рас} - F_{др}$, а в точке C (подветренный сегмент) будет увеличена на эту же величину и будет равна $F_{рас} + F_{др}$. В точках B и D (транверсные сегменты) значение суммарной силы по модулю составит $\sqrt{(F_{рас})^2 + (F_{др})^2}$. Получаем, что в результате действия ветрового дрейфа происходят неравномерное растекание нефтяного пятна и его деформация. Оно проявляется тем больше, чем выше сила дрейфа.

Динамические воздействия водной среды на процесс растекания нефтяных пятен проявляются в виде поверхностных течений и волнения водной поверхности. В первом случае нефтяное пятно перемещается вместе с током воды и изменяет свое местоположение. Воздействие водного потока на нефтяное загрязнение проявляется посредством мелкомасштабной турбулентности, вызывающей образование фолликулярного слоя под нефтяной пленкой. Интенсивность образования этого слоя зависит от скорости водного потока и сковывает процесс растекания нефтяного пятна.

Для оценки влияния волнения на процесс растекания рассмотрим рис. 3.

На все элементы A, B, C, D пятна воздействуют одни и те же силы: давление $P_{ат}$ и плавучести $P_{арх}$.

Под воздействием этих сил формируется сила растекания $F_{рас}$. В точках B и D (на гребне и ложбине) направление вектора $F_{рас}$ параллельно спокойной водной поверхности. В точках A и C , на склонах волн, горизонтальный вектор силы растекания раскла-

дывается на две составляющие, одна из которых параллельна склону волны. Эта составляющая и является силой, определяющей растекание на склоне волны. Она меньше по модулю $F_{рас}$. Даже с учетом того, что все точки от A до D и далее периодически оказываются то на гребне, то на склонах, осредненная сила растекания при волнении меньше, чем при спокойной воде. Другими словами, волнение замедляет процесс растекания пятна.

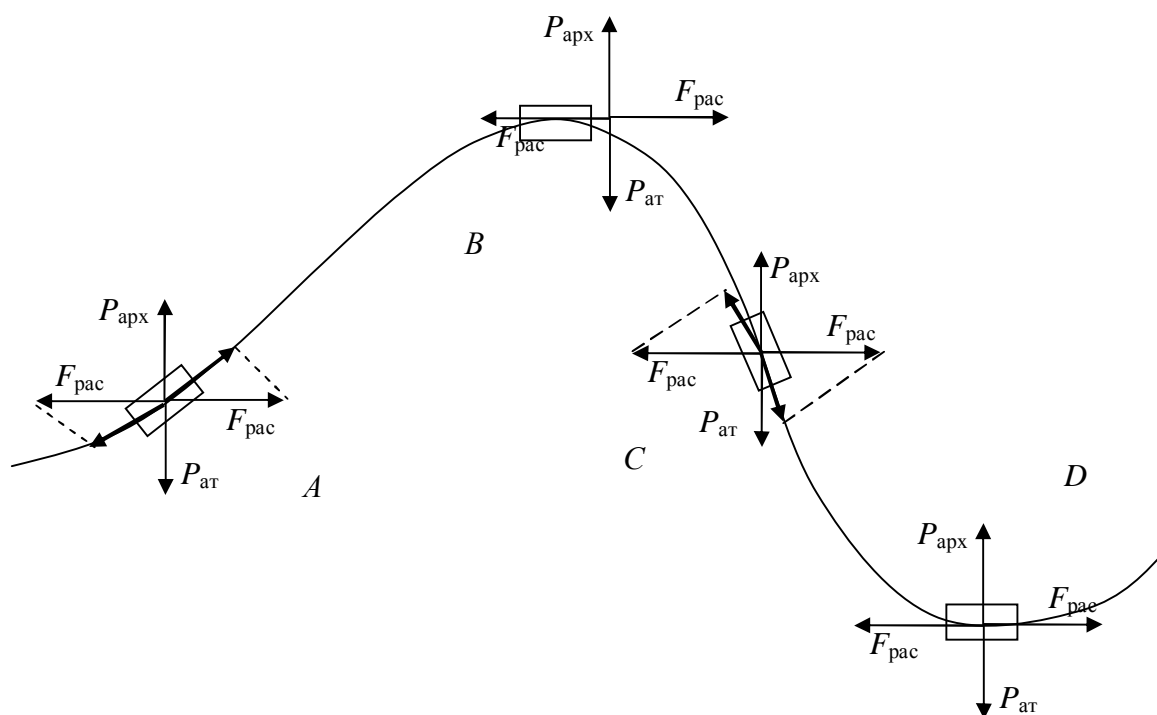


Рис. 3. Схема воздействия волнения на элементы нефтяного пятна

Таким образом, основными физическими факторами, определяющими растекание нефтяного пятна на водной поверхности, являются плотностные, вязкостные и динамические характеристики нефтепродукта, водной среды и атмосферы.

Возможности метрологической регистрации физических параметров в Черноморском бассейне

Параметры нефтепродуктов, водной среды и атмосферы, регистрируемые в Черноморском бассейне, будем рассматривать, исходя из пространственно-временных масштабов нефтяных загрязнений, ранее регистрируемых в Черном море. Нефтяные загрязнения существуют от нескольких часов до нескольких суток, их геометрические размеры могут достигать десятков километров, а объемы попадающих в воду нефтепродуктов измеряются от единиц до сотен метров кубических. Параметры разлитых, попавших в воду нефтепродуктов, а именно плотность, вязкость и объем, могут оцениваться, только исходя из параметров источника, например танкер, получивший пробоину. По размерам пробоины оценивается объем, а из паспорта перевозимого груза берутся данные о плотности и вязкости нефтепродукта. Если таких данных нет, а обнаружен нефтяной разлив, то параметры нефтепродукта оценивают, исходя из результатов экспресс-анализов, выполняемых с помощью переносных портативных лабораторий.

Данные о водной среде, ее температуре, солености получают путем оперативного измерения СТД зондами, результаты которых используются для расчета плотности. Данные о волнении (высоте поверхностных волн) систематически регистрируются береговыми постами наблюдения и судами, находящимися в море, с точностью до 0,1...0,2 м. Направление и скорость поверхностных течений может определяться соответствующими измерителями при нахождении судов в районе загрязнения или определяться с помощью печатных или электронных атласов течений Черного моря. Необходимо отметить, что флуктуации направления водного потока могут достигать $\pm 0,01...0,05$ м/с.

Параметры атмосферы, а именно температура, относительная влажность воздуха и атмосферное давление, регистрируются на береговых постах и кораблях, находящихся в море, штатным комплектом гидрометеорологических приборов. Направление и скорость ветра также измеряются штатными приборами. Здесь необходимо отметить, что флуктуации параметров приводного ветра составляют по направлению $\pm 10^\circ$, а по скорости $\pm 1...3$ м/с.

Таким образом, все физические параметры, определяющие распространение нефтяного пятна в акватории Черного моря, могут регистрироваться в сроки, позволяющие прогнозировать его распространение, однако флуктуации водного потока и приводного ветра могут достигать по направлению $\pm 5...7$ и $\pm 10^\circ$ и по скорости $\pm 0,01...0,05$ м/с и $\pm 1...3$ м/с соответственно.

Качественная модель развития нефтяного загрязнения

Главным фактором оценки нефтяного загрязнения является его площадь. Качественная модель должна показывать, от изменения каких факторов (параметров) скорость роста площади загрязнения будет увеличиваться, а от каких – уменьшаться. Другими словами, качественная модель – это логическая зависимость, показывающая, от изменения каких параметров будет изменяться скорость роста нефтяного пятна.

Первым параметром является время $[t]$, с течением которого площадь загрязнения растет. Скорость роста будет тем больше, чем выше разность плотностей воды и нефтепродукта $[\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}}]$. Она также будет расти, если будут увеличиваться термические характеристики (температура) воды $[T_{\text{в}}]$ и воздуха (атмосферы) $[T_{\text{а}}]$. Очевидно, что чем больше будет объем вылитого нефтепродукта $[V_{\text{н}}]$, тем больше будет площадь пятна.

К параметрам, уменьшающим скорость роста нефтяного пятна, относятся вязкость нефтепродукта $[j_{\text{н}}]$, высота поверхностных волн $[h_{\text{в}}]$, скорость поверхностного течения $[V_{\text{т}}]$ и скорость приводного ветра $[V_{\text{в}}]$. Тогда получим

$$S(t) = f\left(\frac{[\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}}][T_{\text{в}}][T_{\text{а}}][V_{\text{н}}]}{[j_{\text{н}}][h_{\text{в}}][V_{\text{в}}][V_{\text{т}}]}[t]\right).$$

Таким образом, скорость роста площади нефтяного пятна пропорциональна разности плотностей воды и нефтепродукта, значениям температуры воды и атмосферы, объему нефтепродукта, обратно пропорциональна вязкости нефтепродукта, высоте поверхностных волн, скорости поверхностных течений и приводного ветра.

Выводы

Основными физическими факторами, определяющими растекание нефтяного пятна на водной поверхности, являются плотностные, вязкостные и динамические характеристики нефтепродукта, водной среды и атмосферы. Все физические параметры, оп-

ределяющие распространение нефтяного пятна в акватории Черного моря, могут регистрироваться в сроки, позволяющие прогнозировать его распространение, однако флуктуации водного потока и приводного ветра могут достигать по направлению $\pm 5 \dots 7$ и $\pm 10^\circ$ и по скорости $\pm 0,01 \dots 0,05$ м/с и $\pm 1 \dots 3$ м/с соответственно.

Скорость роста площади нефтяного пятна пропорциональна разности плотностей воды и нефтепродукта, значениям температуры воды и атмосферы, объему нефтепродукта, обратно пропорциональна вязкости нефтепродукта, высоте поверхностных волн, скорости поверхностных течений и приводного ветра.

ФІЗИЧНІ ЧИННИКИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ РОЗТІКАННЯ І ТРАНСФОРМАЦІЮ НАФТОВОЇ ПЛЯМИ НА ВОДНІЙ ПОВЕРХНІ ЧОРНОГО МОРЯ

Ю.Ю. Гончаренко, О.В. Матузаєва, С.О. Чернявська

Розглядаються чинники, що характеризують стан приводних шарів атмосфери, такі як температура, вологість, тиск, швидкість вітру, осаді у вигляді дощу і снігу, і стан приповерхневих шарів морського водного середовища, а саме: температура, солоність, густина води, швидкість течії, ступінь хвилювання і їх вплив на процеси розтікання і трансформації нафтової плями. Пропонуються різні варіанти фізичних моделей, які можна застосовувати для різних районів Чорного моря залежно від гідрометеорологічних умов.

PHYSICAL FACTORS DETERMINING the OIL PATCH PROPAGATION and TRANSFORMATION on the BLACK SEA WATER SURFACE

Yu. Goncharenko, O. Matuzaeva, S. Chernyavskaya

Factors characterizing the state of near-water atmosphere layers such as temperature, humidity, pressure, wind speed, precipitation as the rain and snows and the surface layers state of the marine water environment, namely: temperature, salinity, density of water, current speed, heaving degree and their influence on the propagation processes and oil patch transformation have been examined. The different variants of physical models which can be applied for the different districts of the Black sea depending on the hydro meteorological conditions have been suggested.

Список использованных источников

1. О национальной безопасности: Закон Украины. - Режим доступа: <http://www.gov.ua>
2. Азаренко Е.В. Проблема управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути ее решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Харьков: Харьк. ун-т ВС им. И.А. Кожеду-ба, 2012. – Вып. 2 (100). – С. 271 – 275.
3. Гончаренко Ю.Ю. Этапы развития чрезвычайной ситуации, вызванной загрязнением водной среды нефтепродуктами / Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, А.Н. Фурсенко, Г.А. Черненькая // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – Вып. 2 (34). – С. 83 – 87.
4. Гончаренко Ю.Ю. Моделирование чрезвычайных ситуаций, вызванных нефтяным загрязнением на внутренних и внешних рейдах / Ю.Ю. Гончаренко, Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, Г.А. Черненькая // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вып. 3 (31). – С. 192 – 198.
5. Гончаренко Ю.Ю. Разработка математической модели обратного распространения антропогенного загрязнения на морской поверхности / Ю.Ю. Гончаренко [и др.] // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – Вып. 1 (33). – С. 85 – 89.

6. *Гончаренко Ю.Ю.* Оптимизация обнаружения эмульгированных нефтяных загрязнений в водной среде / Ю.Ю. Гончаренко, В.Н. Григорьева, М.М. Дивизинюк, М.И. Ожиганова // *Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП.* – Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – Вып. 4 (36). – С. 90 – 94.

7. *Азаренко Е.В.* Акустические свойства жидких агрессивных сред / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, Л.В. Третьякова // *Строительство и техника безопасности.* – Симферополь: НАПКС, 2009. – № 27. – С. 47 – 49.

8. *Азаренко Е.В.* Акустические свойства водной среды / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, Л.В. Третьякова // *Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП.* – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вып. 1 (29). – С. 216 – 219.

9. *Азаренко Е.В.* Экологический паспорт как средство предотвращения чрезвычайных ситуаций / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, М.А. Косовская, В.А. Назаренко // *Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП.* – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2011. – Вып. 4 (40). – С. 215 – 220.

10. *Азаренко Е.В.* Особенности моделирования чрезвычайных ситуаций, вызванных распространением антропогенных загрязнений / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, А.Н. Фурсенко // *Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП.* – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – Вып. 1 (41). – С. 201 – 207.

Надійшла до редакції 16.10.13 р.

УДК 669.782:620.9:001

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДО КРЕМНИЯ МАРКИ «СОЛНЕЧНЫЙ»

И.Е. Марончук, И.И. Марончук, Д.Д. Санникович

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Представлены экспериментальные результаты, показывающие возможность получения «солнечного» кремния путем рекристаллизации металлургического кремния в легкоплавких металлах на примере олова и дальнейшей перетяжкой полученных чешуек кремния по методу Чохральского. Проведены эксперименты по очистке легкоплавкого металла (олова) после завершения цикла получения кремниевых чешуек в целях повторного его использования. Качественный и количественный анализ исходных материалов кремния и олова и их состав после различных стадий технологического процесса изучали методом рентгено-флуоресцентного анализа на приборе Elvax light. Структурные особенности полученных кремниевых чешуек рассматривали с помощью растровой электронной микроскопии на приборе РЕМ-МА10БИ. Проведены измерения удельного электрического сопротивления полученного монокристаллического слитка кремния четырехзондовым методом.

Введение

Солнечная фотоэлектрическая энергетика, которую принято за рубежом называть фотовольтаика, в настоящее время является одной из наиболее быстро развивающихся областей как в энергетике, так и среди других отраслей промышленности [1].